



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA**

MATEUS DO NASCIMENTO SANTANA

**ICNOFÓSSEIS E ANÁLISE PALEOAMBIENTAL DA SEÇÃO
CARBONÁTICA PEDRO GONÇALVES, CRETÁCEO
SUPERIOR DA BACIA DE SERGIPE**

São Cristóvão - Sergipe

Setembro de 2018

MATEUS DO NASCIMENTO SANTANA

**ICNOFÓSSEIS E ANÁLISE PALEOAMBIENTAL DA SEÇÃO
CARBONÁTICA PEDRO GONÇALVES, CRETÁCEO SUPERIOR DA
BACIA DE SERGIPE**

Orientadora: Profa. Dra. Edilma de Jesus Andrade

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Departamento de Geologia
da Universidade Federal de Sergipe como
requisito parcial para obtenção do título de
Bacharel em Geologia.

São Cristóvão - Sergipe

Setembro de 2018

MATEUS DO NASCIMENTO SANTANA

**ICNOFÓSSEIS E ANÁLISE PALEOAMBIENTAL DA SEÇÃO CARBONÁTICA
PEDRO GONÇALVES, CRETÁCEO SUPERIOR DA BACIA DE SERGIPE**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Geologia da Universidade Federal de Sergipe, submetido à Banca Examinadora.

Banca Examinadora

Profa. Dra. Edilma de Jesus Andrade
Orientadora (UFS)

Ms. Josevânia de Oliveira
Membro Interno (PRODEMA/UFS)

Dr. Cláudio Borba
Membro Externo (PETROBRAS)

AGRADECIMENTOS

À minha Família.

Aos amigos e companheiros de pesquisa, Emmanuel e Handrei.

À Profa. Edilma, pelas oportunidades, dedicação e amizade durante toda a graduação, exemplo de pessoa íntegra e comprometida com a educação e a pesquisa de qualidade.

*Worms have played a more important part in the history
of the world than most persons would at first suppose.*

Charles Darwin

The Formation of Vegetable Mould Through the Action
of Worms with Observations on their Habits (1881).

RESUMO

Os icnofósseis ou traços fósseis têm sido de grande importância nas interpretações paleoambientais e análise de bacias sedimentares. As estruturas biogênicas produzidas pelos organismos bentônicos têm um papel significativo nas interpretações paleoambientais e paleoecológicas. Dessa forma, a análise da assembleia de icnofósseis possibilita a reconstrução paleoambiental e deposicional de sucessões sedimentares marinhas. A Formação Cotinguiba é representada por uma sucessão de carbonatos e folhelhos marinhos com origem associada a um evento transgressivo na plataforma da Bacia de Sergipe-Alagoas, durante o intervalo Cenomaniano-Coniaciano (Cretáceo Superior). O objetivo deste trabalho foi descrever e identificar a associação de icnofósseis (traços fósseis) na seção carbonática Pedro Gonçalves 6 e reconstruir o ambiente deposicional dessa seção, no contexto da Formação Cotinguiba, Cretáceo Superior da Bacia de Sergipe. A metodologia de trabalho envolveu o levantamento do perfil litoestratigráfico e a coleta de fósseis e estruturas biogênicas na seção Pedro Gonçalves 6. A sucessão sedimentar é composta por uma alternância de calcilutitos e margas, sobrepostos por um pacote de carbonatos altamente bioturbados que migra para uma brecha carbonática fossilífera. Foram identificadas e descritas sistematicamente duas estruturas de bioturbação e seis de bioerosão. A icnocenose de bioturbação é constituída pelos icnogêneros *Thalassinoides* e *Laminites*, enquanto que a de bioerosão é representada por *Entobia*, *Caulostrepsis*, *Gastrochaenolites*, *Maeandropolydora* e *Oichnus*. As escavações de habitação de *Thalassinoides* e *Laminites* indicam a presença de um substrato inconsolidado, associado à icnofácies *Glossifungites*. Em contrapartida, a icnocenose dominada por estruturas de bioerosão permite estabelecer a icnofácies *Entobia*, associada a substratos litificados (*hardgrounds*) e paradas na sedimentação. A distribuição dos icnofósseis na sucessão estratigráfica permitiu verificar uma mudança acentuada na icnocenose ao longo da seção Pedro Gonçalves 6, refletida na migração vertical das icnofácies *Glossifungites* para *Entobia*. Este padrão de empilhamento sugere um evento regressivo local, que causou raseamento da bacia e consequente diminuição da taxa de sedimentação no Turoniano médio.

Palavras-chave: Icnologia; Bioturbação, Bioerosão, Cretáceo, Sergipe

ABSTRACT

Ichnofossils or trace fossils received great attention in paleoenvironmental interpretations and sedimentary basin analysis. The biogenic structures produced by benthic organisms play a significant role in the paleoenvironmental and paleoecologic interpretations. Therefore, the analysis of the ichnofossils assemblage allows paleoenvironmental and depositional reconstructions of marine deposits. The Cotinguiba Formation is represented by a succession of carbonates and marls deposited along the Cenomanian-Coniacian (Upper Cretaceous) intervals of the Sergipe-Alagoas Basin platform. The aim of this study was to describe and identify the association of ichnofossils in the carbonate succession of the Pedro Gonçalves 6 section, as well as to perform a reconstruction for the depositional environment of the Cotinguiba Formation, Upper Cretaceous of Sergipe Basin. The lithostratigraphic log of Pedro Gonçalves 6 section was described. In addition, fossils and biogenic structures were collected to laboratorial examination. The sedimentary succession is composed by an intercalation of mudstone and marls, followed by highly bioturbated carbonate beds that are superimposed by highly fossiliferous carbonate breccia. Two bioturbation and six bioerosion structures were identified and described. The bioturbation ichnocoenosis is constituted by the ichnogenus *Thalassinoides* and *Laminites*. The bioerosion ichnocoenosis is represented by *Entobia*, *Caulostrepsis*, *Gastrochaenolites*, *Maeandropolydora* and *Oichnus*. The presence of the dwelling excavations of *Thalassinoides* and *Laminites* indicates the presence of an unconsolidated substrate, associated to the ichnofacies *Glossifungites*. In contrast, the ichnocoenosis dominated by bioerosion structures allows the establishment of *Entobia* ichnofacies, which is associated with hardgrounds formation and sedimentation-starved surfaces. The ichnofossils distribution in the stratigraphic succession indicates a remarkable change in the ichnocoenosis throughout the Pedro Gonçalves 6 section, reflected in the vertical migration of the ichnofacies *Glossifungites* to *Entobia*. This succession evolution suggests a regressive event followed by exhumation and consequent decrease of sedimentation rate in the middle Turonian of Sergipe Basin.

Key words: Icnology, bioturbation, bioerosion, Cretaceous, Sergipe

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	11
2. OBJETIVOS	13
3. REVISÃO DE LITERATURA	14
3.1. Icnologia e Traços fósseis	14
3.1.1. Nomenclatura, Preservação e Classificação	16
3.1.2. Estruturas de Bioturbação	18
3.1.3. Estruturas de Bioerosão	19
3.1.4. Icnofácies	21
3.2. A Bacia de Sergipe-Alagoas	21
3.2.1. Formação Cotinguiba	25
4. MATERIAS E MÉTODOS	27
4.1. Localização da Área de Estudo	27
4.2. Material	27
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES	29
5.1. Litoestratigrafia	29
5.2. Icnologia sistemática	33
5.2.1. Estruturas de bioerosão	33
5.2.2. Estruturas de Bioturbação	41
5.3. Icnofácies e Interpretação Paleoambiental	45
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	53
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	54

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1: Exemplos de atividade recente de bioturbação e de traço fóssil produzido por comportamento semelhante. **A.** Anelídeos da classe Polychaeta em escavação (formato de U). **B.** *Arenicolites* isp. da Formação Burj, Cambriano da Jordânia (modificado de DASHTGARD; GINGRAS, 2012; BUATOIS *et al.*, 2017). 14
- Figura 2: Classificação das estruturas biogênicas proposta por Buatois e Mángano (2011). 15
- Figura 3: Classificação toponômica dos traços fósseis em relação ao molde arenoso, com a nomenclatura proposta por Seilacher (1964) (modificado de BROMLEY, 1996). 17
- Figura 4: Classificação etológica dos traços fósseis (modificado de BUATOIS; MÁNGANO, 2011). 17
- Figura 5: Modelo de ocupação dos traços de bierosão. **A-H.** Sentido de aumento do nível de profundidade das perfurações (*tiering*) (extraído de BROMLEY; ASGAARD, 1993).... 20
- Figura 6: Localização da porção onshore da Bacia de Sergipe-Alagoas com mapa geológico simplificado das formações marinhas (modificado de BENGTON, 1983). 22
- Figura 7: Arcabouço estrutural do embasamento da porção onshore da Bacia de Sergipe, com indicação da área de estudo (modificado de PETROBRÁS – DENEST, 1992 *apud* KOUTSOUKOS *et al.*, 1993). 23
- Figura 8: Intervalo estratigráfico das formações Riachuelo e Cotinguiba da Bacia de Sergipe (modificado de SOUZA-LIMA *et al.*, 2002; CAMPOS NETO *et al.*, 2007). 25
- Figura 9: Mapa de localização simplificado da área de estudo, exibindo a localidade Pedro Gonçalves 6 (PG06) e demais localidades adjacentes, Pedro Gonçalves 1 e 2, descritas por Bengtson (1983). 28
- Figura 10: Visão panorâmica da pedreira Pedro Gonçalves 6. 29
- Figura 11: Perfil litoestratigráfico da seção Pedro Gonçalves 6 (PG06). **A.** Brecha carbonática do pacote superior. **B.** Sucessão de camadas de calcário irregular a nodular do pacote intermediário. **C.** alternância de calcilutitos e margas da frente de exploração do pacote inferior da seção PG06. 30
- Figura 12: **A** Detalhe da alternância de calcilutito e marga no pacote inferior. **B.** Detalhe das estruturas de bioturbação no calcário irregular a nodular do pacote intermediário. **C.** Detalhe dos bancos de ostreídeos no topo do pacote superior. **D.** Concha de ostreídeo extremamente bioerodida no banco de ostreídeos no topo da seção PG06. 32
- Figura 13: *Entobia* isp. proveniente de Pedro Gonçalves 6. **A.** Perfurações de *Entobia* sobre a valva de *Crassostrea* sp. (PG06-115). **B.** Detalhe das perfurações de *Entobia* isp. (PG06-115). **C.** Molde interno das galerias de *Entobia* isp. preservado sob a marca muscular de um molde interno de *Plicatula* sp. **D-E.** *Entobia* isp. sobre *Crassostrea* sp. (PG06-100; PG06-103). **F.** Perfurações de *Entobia* isp. sobre construção estromatolítica. Barra de escala: 10 mm. 34
- Figura 14: *Maeandropolydora sulcans* proveniente de Pedro Gonçalves 6. **A.** Escavação de *M. sulcans* (Ma) sobre a valva de *Liopistha* (*Sergipemya*) *alta*, povoada por escavações de *Caulostrepsis* isp. (Ca) (PG06-109). **B.** *M. sulcans* (Ma) sobre a valva de *Protocardia pauli* (PG06-27). **C.** Escavação de *M. sulcans* (Ma) sobre valva de bivalvío Heterodonta. **D.** Extensa escavação de *M. sulcans* na região umbonal de *Megaporomya* sp. (PG06-001). Barra de escala: 10 mm. 35
- Figura 15: *Caulostrepsis* isp. proveniente da localidade Pedro Gonçalves 6. **A.** *C. taeniola* sobre valva de *Protocardia pauli* (PG06-24). **B.** *C. taeniola* (Ca) sobre valva de bivalve indet. (PG06-257). **C.** *C. taeniola* sobre valva de *Liopistha* (*Sergipemya*) *alta* (PG06-

109). D. <i>C. taeniola</i> sobre valva de <i>Protocardia pauli</i> (PG06-18). Barra de escala: 10 mm.....	37
Figura 16: <i>Caulostrepsis spiralis</i> proveniente da localidade Pedro Gonçalves 6 (PG06-09).	38
Figura 17: <i>Oichnus</i> isp. proveniente da localidade Pedro Gonçalves 6. A. Perfuração de <i>Oichnus</i> isp. (Oi) sobre a valva de <i>Protocardia</i> sp. (PG06-147). B. <i>Oichnus</i> isp. (Oi) e <i>Caulostrepsis</i> isp. (Ca) sobre valva de <i>Protocardia</i> . (PG06-27). C. <i>Oichnus</i> isp. (Oi), <i>Caulostrepsis</i> isp. (Ca) e <i>Gastrochaenolites</i> isp. (Ga) sobre valva de <i>Megaporomya</i> sp. (PG06-01). Barra de escala: 10 mm.	39
Figura 18: <i>Gastrochaenolites</i> isp. proveniente da localidade Pedro Gonçalves 6. A-B. Perfuração de <i>Gastrochaenolites</i> isp. na concha de um amonoide acantoceratídeo (PG06-238). C. <i>Gastrochaenolites</i> isp. sobre concha de <i>Megaporomya</i> sp. (PG06-01). Barra de escala: 10 mm.	40
Figura 19: <i>Thalassinoides</i> isp. provenientes da localidade Pedro Gonçalves 6. A-F. Exemplares PG06-244, 245, 246, 247, 248 e 249, respectivamente. Barra de escala: 10 mm	42
Figura 20: <i>Laminites</i> isp. da localidade Pedro Gonçalves 6. A. <i>Laminites</i> isp. no calcário do pacote intermediário da seção PG06. B-G. <i>Laminites</i> isp. (exemplares PG06-235, 213, 230, 213, 235 respectivamente).	44
Figura 21: (A) Representação esquemática das escavações produzidas por crustáceos decápodos em diferentes substratos (B) e das estruturas de <i>Ophiomorpha</i> e <i>Thalassinoides</i> (modificado de BUATOIS, 1996; BERTLING <i>et al.</i> , 2006).	47
Figura 22: Representação esquemática das relações de bioturbação de equinoides espatangoides e dos traços de bioturbação resultantes. A. Interpretação de <i>Bichordites</i> como um tubo concêntrico inserido em <i>Laminites</i> (modificado de PLAZIAT; MAHMOUDI, 1988). Seção transversal da bioturbação do mesmo equinoide, exibindo três zonas concêntricas bem definidas (modificado de BROMLEY; ASGAARD, 1975). B-E. Representação esquemática da seção transversal dos tubos de <i>Laminites</i> isp. provenientes de PG06.....	48
Figura 23: Diagrama esquemático das estruturas de bioturbação geradas pela atividade de equinoides irregulares (extraída de PLAZIAT; MAHMOUDI, 1998).....	49
Figura 24: Reconstrução esquemática da icnofácies <i>Glossifungites</i> (extraído de BUATOIS; MÁNGANO, 2011).	50
Figura 25: Reconstrução Esquemática da icnofácies <i>Trypanites/Entobia</i> (extraído de BUATOIS; MÁNGANO, 2011).....	51
Figura 26: Distribuição estratigráfica dos icnofósseis e icnofácies na seção Pedro Gonçalves 6.	52

1. INTRODUÇÃO

O desenvolvimento das bacias sedimentares mesozoicas da margem passiva brasileira está relacionado à ruptura do continente Gondwana e aos processos tectônicos extensionais geradores de espaço de acomodação, iniciados durante o Jurássico (MILANI *et al.*, 2007). Neste contexto, a Bacia de Sergipe-Alagoas é uma exímia representante dos processos evolutivos relacionados às fases de desenvolvimento de uma bacia rifte, com registros estratigráficos bem preservados das fases pre-, *sin*- e pós rifte.

Durante a incursão marinha do final do Eocretáceo, a Bacia de Sergipe-Alagoas experimentou uma fase de sedimentação siliciclástica-carbonática que está preservada nas rochas das formações Riachuelo e Cotinguiba. De idade albiana-cenomaniana, esta sucessão de rochas representa o início da fase de sedimentação francamente marinha da Bacia de Sergipe-Alagoas, logo após a quebra das barreiras fisiográficas no final da fase rifte. A intercalação de rochas carbonáticas marinhas tem sua gênese associada a ambientes deposicionais de rampa e plataforma carbonática rasa. As formações Riachuelo e Cotinguiba preservam uma extensa macrofauna marinha, notadamente de invertebrados, alvo de estudos paleontológicos e bioestratigráficos desde meados do séc. XIX.

A icnologia é o ramo da geologia que abrange o estudo dos vestígios produzidos em rochas, sedimentos e grãos por meio da atividade biológica (BROMLEY, 1996). Os vestígios preservados no registro geológico são denominados de traços fósseis ou icnofósseis. Tais estruturas geralmente refletem o comportamento do organismo em relação aos controles ecológicos do meio em questão, como a energia do ambiente, coerência do substrato, taxas de sedimentação, salinidade, oxigenação e temperatura. Esse conjunto de fatores pode ser associado a determinados tipos de ambientes ecológicos (SEILACHER, 1964). Por conta disso, icnofósseis são largamente utilizados na reconstrução paleoecológica e paleoambiental dos sistemas deposicionais em sucessões de rochas sedimentares (CATUNEANU, 2006).

Apesar da grande diversidade de trabalhos paleontológicos, principalmente em torno da fauna de moluscos, o potencial icnológico foi pouco explorado. As icnofácies (assembleias de icnofósseis) são utilizadas em conjunto com dados

sedimentares, paleontológicos e estratigráficos, e fornecem uma das melhores formas de abordagem integrada na análise de fácies sedimentares e de interpretação paleoambiental. Em termos práticos, a análise integrada da associação de icnofósseis pode ser utilizada na determinação de superfícies estratigráficas chaves no contexto da estratigrafia de sequências, paradigma revolucionário nos modelos de sedimentação e destruição do registro estratigráfico. Tal potencial é usado de maneira preditiva no contexto econômico e exploratório na caracterização de reservatórios de bacias sedimentares produtoras de hidrocarbonetos (BROMBLEY, 1996; CATUNEANU, 2006; BUATOIS; MÁNGANO, 2011).

2. OBJETIVOS

Este trabalho tem como principal objetivo descrever e identificar a associação de icnofósseis (traços fósseis) presentes na seção carbonática da localidade Pedro Gonçalves, com a finalidade de reconstruir o ambiente deposicional dessa seção, Formação Cotinguiba, Cretáceo Superior da Bacia de Sergipe.

Os objetivos específicos incluem:

- Coletar e preparar amostras de rochas e macrofósseis da localidade Pedro Gonçalves 6 com a finalidade de evidenciar as estruturas biogênicas ou traços fósseis;
- Descrever e identificar os icnofósseis;
- Determinar as icnofácies (associações de icnofósseis) presentes na seção estudada;
- Interpretar e reconstruir o paleoambiente da seção Pedro Gonçalves 6 no contexto deposicional da Formação Cotinguiba.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1. Icnologia e Traços fósseis

A icnologia é o ramo da geologia que se ocupa do estudo dos traços, estruturas produzidas em rochas, sedimentos e grãos pela atividade de organismos vivos. Os traços produzidos por organismos recentes são estudados pela neoicnologia, enquanto que os traços fósseis (ou icnofósseis) recaem sobre a alçada da paleoicnologia (Figura 1) (BROMLEY, 1996). A Icnologia ocupa uma posição intermediária entre a paleontologia (biologia) e a sedimentologia (estratigrafia), haja visto que a análise do registro icnológico promove valiosa contribuição nos estudos de paleoecologia, sedimentologia, bioestratigrafia, estratigrafia de sequências e caracterização de reservatórios de hidrocarbonetos. Esta abordagem multidisciplinar do conteúdo icnológico melhora o entendimento das configurações de deposição, arquitetura deposicional, permeabilidade de reservatórios, comportamento dos organismos e reconstrução e evolução dos ecossistemas (CATUNEANU, 2006; BUATOIS; MÁNGANO, 2011).

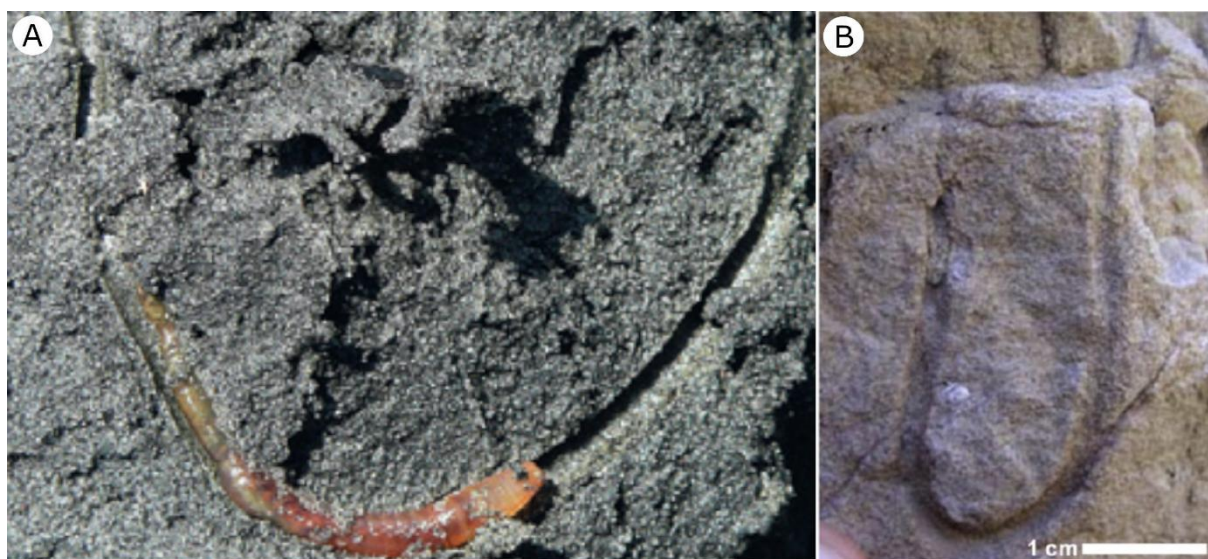


Figura 1: Exemplos de atividade recente de bioturbação e de traço fóssil produzido por comportamento semelhante. **A.** Anelídeos da classe Polychaeta em escavação (formato de U). **B.** *Arenicolites* isp. da Formação Burj, Cambriano da Jordânia (modificado de DASHTGARD; GINGRAS, 2012; BUATOIS *et al.*, 2017).

Um traço fóssil é uma estrutura morfológicamente recorrente resultado da atividade de vida de um organismo que modifica o substrato. Este substrato pode ser uma rocha, sedimento (inconsolidado ou coeso), matéria orgânica morta ou um tecido orgânico vivo (BERTLING *et al.*, 2006). As classificações mais recentes agrupam as estruturas biogênicas em três grupos principais (BUATOIS; MÁNGANO,

2011): (1) estruturas sedimentares biogênicas, (2) estruturas de bioerosão e (3) outras evidências de atividade de organismos (Figura 2).

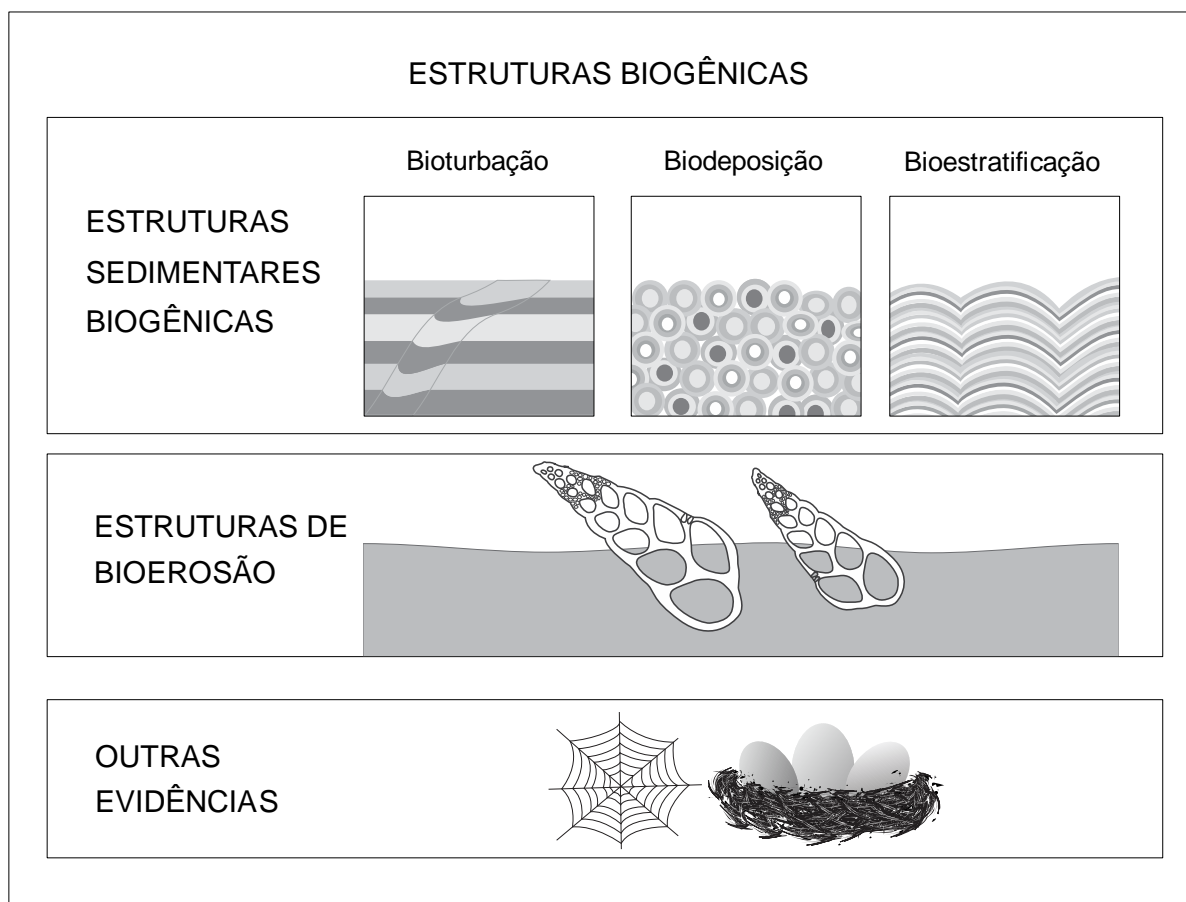


Figura 2: Classificação das estruturas biogênicas proposta por Buatois e Mángano (2011).

O primeiro grupo engloba as estruturas produzidas sobre ou dentro de um substrato inconsolidado. Fazem parte deste grupo as estruturas de bioturbação, biodeposição e bioestratificação. As bioturbações englobam pegadas, trilhas, escavações, pistas e túneis que resultam na destruição da estrutura sedimentar previamente existente no sedimento inconsolidado. Os coprólitos, pelotas fecais ou qualquer estrutura que evidencie a produção ou concentração de sedimento provenientes da atividade metabólica de um organismo são denominados de biodeposições. As estruturas de bioestratificação englobam os estromatólitos, tapetes microbiais, trombólitos ou qualquer estrutura com características de estratificação produzidas por organismos vivos (BERTLING *et al.*, 2006; BUATOIS; MÁNGANO, 2011). Quando as escavações e perfurações se concentram em um substrato rígido, derivados de abrasão mecânica ou química, a estrutura é dita como de bioerosão (BROMLEY, 1994; FERNANDES; CARVALHO; AGOSTINHO, 2007;

BUATOIS; MÁNGANO, 2011). Determinadas estruturas de posicionamento duvidoso ou incerto ocupam a chamada “zona cinza”. Teias de aranha, ninhos, pérolas, estruturas patológicas, etc. são consideradas por alguns autores como traços e por outros não (BERTLING *et al.*, 2006). Os moldes de partes corporais não são considerados icnofósseis porque são gerados de forma passiva entre o organismo e o substrato (SIMPSON, 1975).

3.1.1. Nomenclatura, Preservação e Classificação

A paleoicnologia adota a nomenclatura binominal introduzida por Lineu para a taxonomia de organismos vivos. Assim como na nomenclatura zoológica e botânica, os níveis taxonômicos mais importantes são a icnoespécie e o icnogênero. Níveis taxonômicos superiores (icnofamílias) e inferiores (subgênero e subespécie) foram estabelecidos, embora raramente sejam utilizados (BERTLING *et al.*, 2006).

Os icnofósseis podem ser classificados pelo modo que se preservam (classificação toponômica) ou pelo reflexo comportamental inferido do organismo produtor do traço a partir do seu icnofóssil (classificação etológica) (SEILACHER, 1964; BROMLEY, 1996; BUATOIS; MÁNGANO, 2011).

A classificação toponômica engloba a descrição e classificação da estrutura biogênica com relação ao seu modo de preservação e ocorrência (Figura 3). O modo de ocorrência é definido de acordo com a posição da estrutura sobre ou dentro do estrato, ou em relação ao molde. Os processos mecânicos e as alterações relacionadas à produção das estruturas biogênicas fazem parte dos processos toponômicos (BUATOIS; MÁNGANO, 2011).

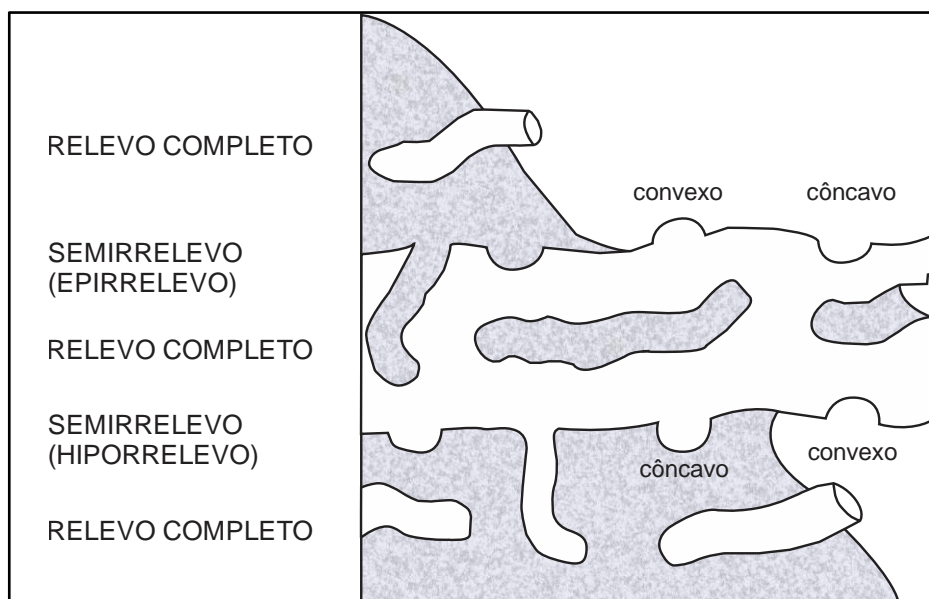


Figura 3: Classificação toponômica dos traços fósseis em relação ao molde arenoso, com a nomenclatura proposta por Seilacher (1964) (modificado de BROMLEY, 1996).

A classificação etológica (ou ecológica) agrupa os icnofósseis de acordo com o significado ecológico (Figura 4). O objetivo da classificação comportamental dos traços fósseis é aplicar os dados icnológicos disponíveis em interpretações paleoecológicas importantes, a respeito dos hábitos de vida, alimentação e estrutura trófica da biota (EKDALE, 1985).

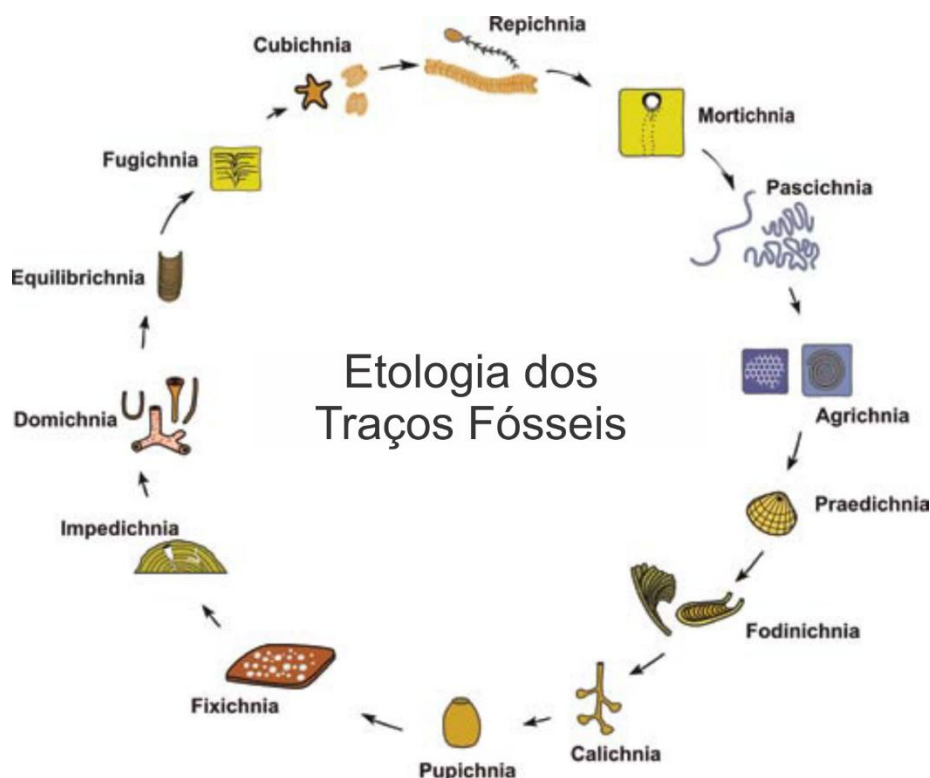


Figura 4: Classificação etológica dos traços fósseis (modificado de BUATOIS; MÁNGANO, 2011).

Seilacher (1964) definiu as cinco primeiras categorias: *Cubichnia* (traços de repouso), *Repichnia* (traços de locomoção), *Pascichnia* (traços de pastagem), *Fodinichnia* (traços de alimentação) e *Domichnia* (traços de habitação). Posteriormente, categorias que agrupam traços de morte (*Mortichnia*), armadilha e cultivo (*Agrichnia*), escape (*Fugichnia*), equilíbrio (*Equilibrichnia*), predação (*Praedichnia*), nidificação (*Calichnia*) e pulpitação (*Pulpichnia*) foram adicionadas à classificação (EKDALE, 1985, BROMLEY, 1996, BUATOIS; MÁNGANO, 2011; FERNANDES; CARVALHO; AGOSTINHO, 2007).

Traços fósseis exibem uma série de características que refletem sua formação e história tafonômica. Estas características permitiram a criação de um forte arcabouço conceitual em torno da disciplina, refletido na grande interdisciplinaridade da icnologia frente à paleoecologia, sedimentologia e estratigrafia. Em contrapartida, algumas limitações no uso da icnologia são atribuídas às mesmas (BUATOIS; MÁNGANO, 2011).

Uma icnocenose (ou icnocomunidade) é definida como um conjunto de traços fósseis produzidos por uma comunidade biológica. Apesar de recorrente na literatura, o termo icnoassociação (ou associação de icnofósseis) tem aplicação equivocada, devido ao uso disseminado sem a adequada abordagem temporal ou espacial (BUATOIS; MÁNGANO, 2011).

3.1.2. Estruturas de Bioturbação

Os traços de bioturbação são estruturas sedimentares biogênicas caracterizadas pela destruição da estratificação original ou da fábrica sedimentar pré-existente pela ação de um organismo vivo (BUATOIS; MÁNGANO, 2011; BROMLEY, 1996) (Figura 2). O processo de bioturbação é condicionado principalmente pelo modo de vida dos organismos produtores e pelo grau de coesão do substrato. Sedimentos não litificados, como *softgrounds* e *firmgrounds*, estão mais propensos à atuação da bioturbação. Em contrapartida, *hardgrounds*, substratos litificados por ação diagenética (cimentação), são quase que exclusivamente sítios de bioerosão (BROMLEY, 1996).

A bioturbação de substratos inconsolidados geralmente envolve algum tipo de preparação ou preenchimento das superfícies internas da escavação, a fim de prevenir o colapso das galerias. A secreção de muco é uma das principais ferramentas empregada na sustentação e impermeabilização das escavações por organismos bentônicos. Esta película aplicada na parede das escavações recebe o nome de *lining*. Galerias que são habitadas por longos períodos necessitam de reforço no preenchimento, que podem receber material detrítico, pelotas fecais e até restos de alimentos ou esqueletos na fixação da superfície da escavação. Este tipo de preenchimento recebe a denominação de tubo. A determinação do estilo de preenchimento de uma bioturbação pode revelar informações importantes quanto ao estilo trófico, coerência do substrato, técnicas de escavação e afinidades biológicas dos organismos bioturbadores (BROMLEY, 1996; BUATOIS; MÁNGANO, 2011).

3.1.3. Estruturas de Bioerosão

As estruturas de bioerosão são formadas por erosão biológica, induzida por abrasão química ou física de um substrato rígido, como rochas, conchas, madeira e ossos (BROMLEY, 1996; WILSON, 2007; BUATOIS; MÁNGANO, 2011). As perfurações são o principal tipo de bioerosão em termos de abundância (WILSON, 2007). As perfurações são subdivididas em macrop perfurações, quando possuem tamanho superior a 1 mm e permitem sua identificação a olho desarmado. Caso contrário, são chamadas de microp perfurações. O substrato marinho litificado é o principal ambiente de ação da bioerosão, entretanto, costas rochosas escarpadas, afloramentos carbonáticos e até rochas ígneas e metamórficas podem ser colonizadas pela ação de organismos bioerodidores (WILSON, 2007; BUATOIS; ENCINAS, 2011; NIETO *et al.*, 2018).

O termo *Tiering* refere-se à profundidade relativa que um organismo penetra o substrato durante a escavação. Este é um importante parâmetro a ser avaliado no grau de habitação do substrato e potencial de preservação de um determinado traço fóssil, em especial, das bioerosões (Figura 5) (BROMLEY; ASGAARD, 1993).

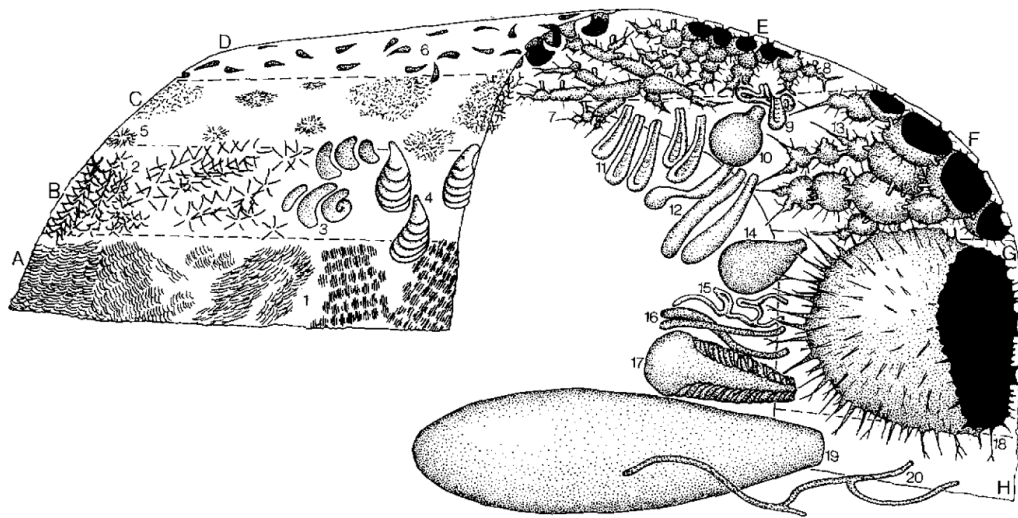


Figura 5: Modelo de ocupação dos traços de bioerosão. **A-H.** Sentido de aumento do nível de profundidade das perfurações (*tiering*) (extraído de BROMLEY; ASGAARD, 1993).

O reconhecimento de estruturas de bioerosão nos permite entender a evolução estratigráfica e sedimentológica de substratos consolidados expostos por longos períodos, com pouca ou nenhuma taxa de sedimentação. Em sequências carbonáticas, que comumente apresentam diferenças faciológicas sutis na sucessão vertical das camadas, os indicadores paleontológicos são evidências importantes de hiatos deposicionais (TAYLOR; WILSON, 2003, WILSON, 2007).

3.1.4. Icnofácies

O conceito de icnofácies foi introduzido por Seilacher (1967) a partir da comparação de diversas icnocenoses de diversas idades geológicas, ao estabelecer a existência de uma relação entre a etologia dos traços fósseis e as fácies sedimentares, definida pela abundância relativa de determinados icnofósseis com mesma afinidade ecológica. Atualmente, as icnofácies são tratadas como um conjunto de icnocenoses que compartilham características determinantes em um amplo intervalo de idades, formadas em um conjunto de condições ambientais semelhantes (BUATOIS; MÁNGANO, 2011).

3.2. A Bacia de Sergipe-Alagoas

A Bacia de Sergipe-Alagoas é uma das bacias sedimentares da margem continental na costa leste do continente sul-americano. Originou-se durante o rifteamento do supercontinente Gondwana durante o período Cretáceo, no evento que deu origem aos continentes Sul-africano e Sul-americano e ao Oceano Atlântico. A bacia está localizada na região Nordeste do Brasil, entre os paralelos 9º e 11º S. Sua parte emersa abrange uma área de 13.000 km² e está contida nos estados que lhe conferem nome, enquanto sua área submersa se estende por 20.000 km² (FEIJÓ, 1994). A bacia apresenta estrutura de meio-graben com mergulho regional dos estratos para sudeste (SOUZA-LIMA *et al.*, 2002) (Figura 6).

As bacias da margem continental leste desenvolveram-se ao longo de falhas transformantes equatoriais, onde as placas africana e americana deslizaram (BENGTSON, 1983). Estas bacias apresentam estruturas tectônicas predominantemente distensivas, e contêm grande espessura de sedimentos, mais de 10.000 m em alguns locais (PONTE; ASMUS, 1978 *apud* BENGTSON, 1983).

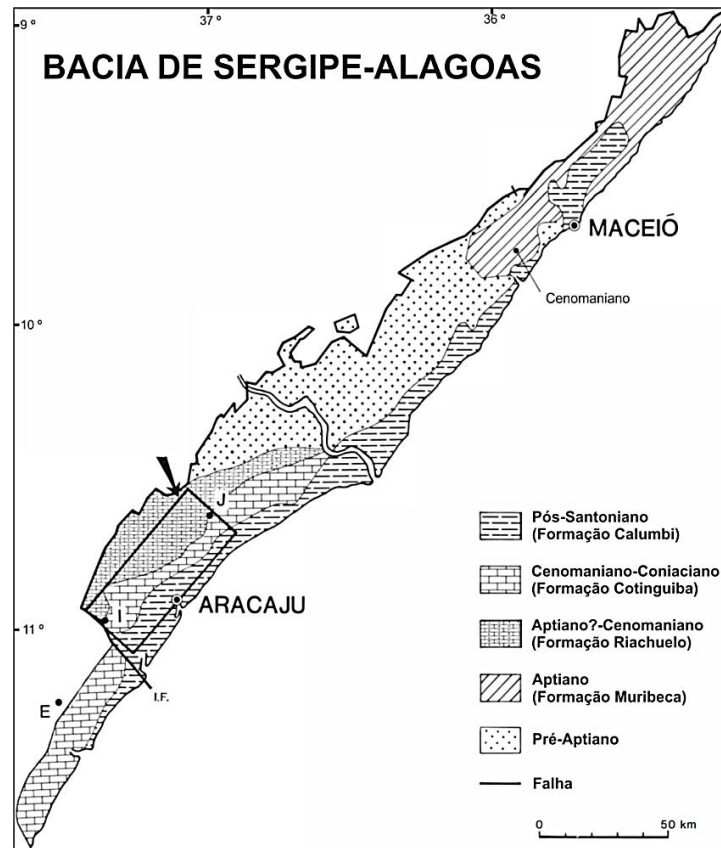


Figura 6: Localização da porção *onshore* da Bacia de Sergipe-Alagoas com mapa geológico simplificado das formações marinhas (modificado de BENGTON, 1983).

O arcabouço estrutural da Bacia de Sergipe-Alagoas é formado por falhas normais e basculamentos desenvolvidos durante o processo de rifteamento e abertura do Oceano Atlântico (Figura 7). Durante a fase rifte, falhas com direções NE desenvolveram-se perpendicularmente aos esforços distensivos atuantes (CRUZ, 2008). Episódios de basculamento ocorreram durante o Aptiano e o Turoniano e contribuíram para a formação de estruturas de meio-graben (OJEDA; FUGITA, 1974).

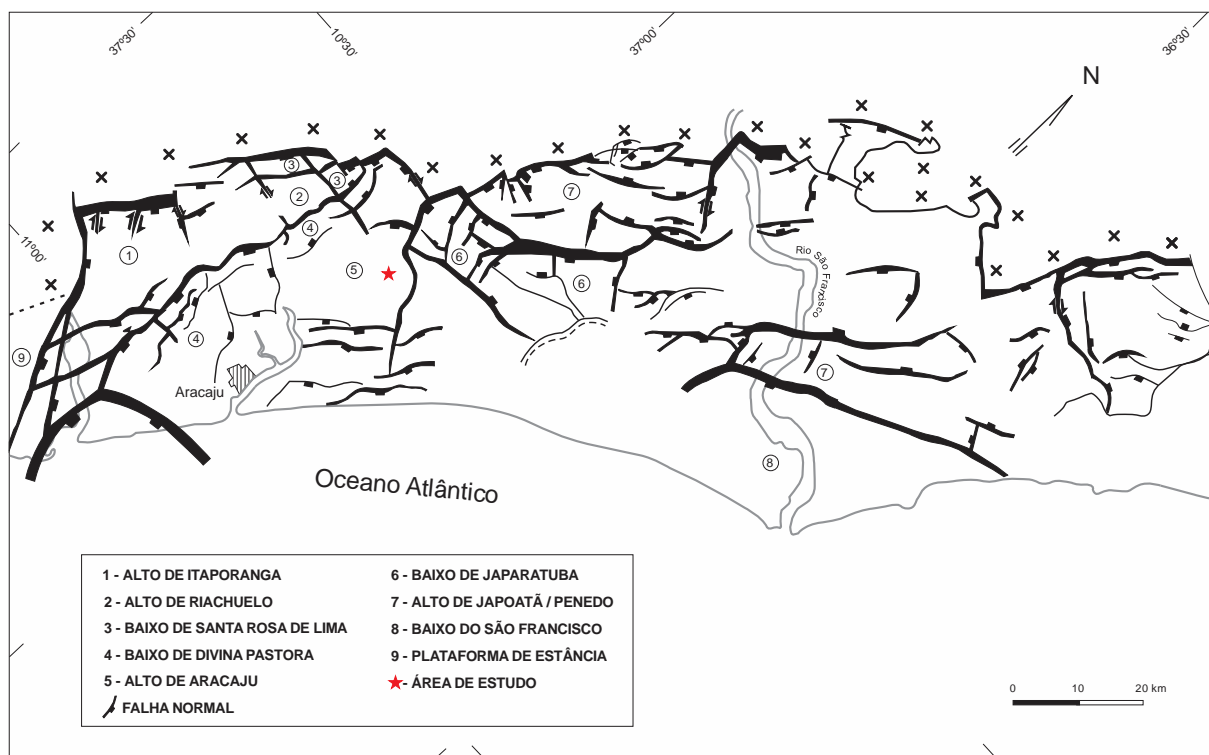


Figura 7 Arcabouço estrutural do embasamento da porção *onshore* da Bacia de Sergipe, com indicação da área de estudo (modificado de PETROBRÁS – DENEST, 1992 *apud* KOUTSOUKOS *et al.*, 1993).

Campos Neto *et al.* (2007) propuseram duas cartas estratigráficas para a bacia de Sergipe-Alagoas, separando-a em sub-bacia de Sergipe (meridional) e sub-bacia de Alagoas (setentrional), devido às mudanças no preenchimento sedimentar e no arcabouço tectônico da porção sergipana para a alagoana, entretanto, sem individualizá-las, como feito por Feijó (1994).

A coluna estratigráfica da sub-bacia de Sergipe é composta por 23 sequências deposicionais que repousam sobre o embasamento metamórfico proterozoico dos grupos Miaba e Vaza-Barris, e metassedimentos do Grupo Estância. Estas sequências são correlacionáveis aos estágios evolutivos que ocorreram nas bacias da margem leste brasileira relacionadas à abertura do Oceano Atlântico Sul: sinéclise, pré-rifte, rifte e margem passiva (drifte) (CAMPOS NETO *et al.*, 2007).

A fase sinéclise é caracterizada pela sedimentação carbonífera-permiana que abrange as rochas siliciclásticas depositadas em ambiente glacial da Formação Batinga e os depósitos de ambiente desértico, litorâneo e deltaico da Formação

Aracaré, em condições intracratônicas, sobre o embasamento proterozoico (CAMPOS NETO *et al.*, 2007).

Durante o Eocretáceo, sedimentos continentais foram depositados no vale subsidente em rifte, denominado depressão Afro-brasileira (SOUZA-LIMA *et al.*, 2002). Em Sergipe, o estágio pré-rifte é representado pela sedimentação dos arenitos flúvio-deltaicos da Formação Candeeiro, folhelhos vermelhos lacustres da Formação Bananeiras e arenitos fluviais com retrabalhamento eólico da Formação Serraria (CAMPOS NETO *et al.*, 2007).

O início do estágio rifte foi marcado pelo aumento da taxa de subsidência da bacia e a instalação do lago da Formação Feliz Deserto, constituída por intercalações de folhelhos verdes e delgadas camadas de arenito. Na falha de borda e região proximal ocorria a deposição dos conglomerados da Formação Rio Pitanga e dos arenitos alúvio-fluviais da Formação Penedo, enquanto que distalmente ocorria a sedimentação lacustre da Formação Barra de Itiúba. Os depósitos de coquinas da Formação Morro do Chaves evidenciam períodos de baixo aporte sedimentar nas regiões rasas da bacia. O aumento do tectonismo e consequentemente da taxa de subsidência durante o Eoaptiano foram acompanhadas da deposição dos arenitos alúvio-deltaicos da Formação Coqueiro Seco (SOUZA-LIMA *et al.*, 2002; CAMPOS NETO *et al.*, 2007).

Após o desenvolvimento geral do arcabouço estrutural da bacia (Aptiano), ocorreram as primeiras incursões marinhas que depositaram camadas de evaporitos, que junto aos depósitos clásticos não marinhos e lagunares, originaram a Formação Muribeca (FEIJÓ, 1994; CAMPOS NETO *et al.*, 2007).

Com a abertura do rifte oceânico, o influxo de material terrígeno diminuiu em detrimento à deposição carbonática (BENGTON, 1983; FEIJÓ, 1994; CAMPOS NETO *et al.*, 2007). A sequência carbonática marinha que engloba o Aptiano superior até o Coniaciano médio pode ser dividida de acordo com os dois principais sistemas deposicionais dominantes (KOUTSOUKOS; BENGTON, 1993) (Figura 8):

(1) Um sistema plataformar carbonático-siliciclástico, correspondendo à Formação Riachuelo, com média de 500 m de espessura e mais de 1700 m em alguns locais. A Formação Riachuelo é composta por sedimentos proximais clásticos

do Membro Angico, calcilutitos e folhelhos lagunares e de talude do Membro Taquari e bancos de oncólitos e oólitos do Membro Maruim.

(2) Uma rampa carbonática formada em águas profundas, desenvolvida principalmente como calcário de granulação fina, correspondendo à Formação Cotinguiba.

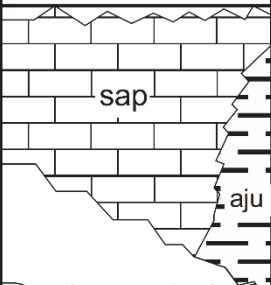
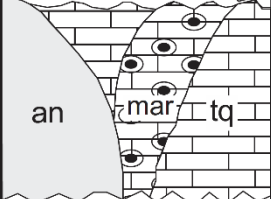
Idade	Fm.	Membro	Litologia	Ambiente
Coniaciano	Cotinguiba	Sapucari		Talude
Turoniano		Aracaju		Profundo
Cenomaniano				
Albiano	Riachuelo	Maruim		Leques aluvio-deltáicos/ Plataforma/ Talude
Aptiano		Taquari Angico		

Figura 8: Intervalo estratigráfico das formações Riachuelo e Cotinguiba da Bacia de Sergipe (modificado de SOUZA-LIMA *et al.*, 2002; CAMPOS NETO *et al.*, 2007).

3.2.1. Formação Cotinguiba

A Formação Cotinguiba compreende os depósitos carbonáticos com interestratificações clásticas depositados entre os intervalos Cenomaniano e Coniaciano, sobreposta à Formação Riachuelo e sotoposta à Formação Calumbi (FEIJÓ, 1994). Sua deposição iniciou-se no Neocenomaniano e durou até o Coniaciano, com ápice no intervalo Eoturoniano (KOUTSOUKOS, 1989). Um grande evento transgressivo causou o afogamento do sistema plataformar da Formação Riachuelo e possibilitou a deposição dos sedimentos da rampa carbonática desta formação (CAMPOS NETO *et al.*, 2007; SOUZA-LIMA *et al.*, 2002). Na parte proximal da rampa, depositaram-se calcilutitos maciços e brechoides do Membro Sapucari, enquanto que no talude e na bacia ocorreu a sedimentação de folhelhos, margas e calcilutitos do Membro Aracaju (CAMPOS NETO *et al.*, 2007).

A Formação Cotinguiba é detentora de uma extensa fauna de invertebrados marinhos, que abrange moluscos amonoides, bivalvíos e gastrópodes, equinoides,

peixes e crustáceos (BENGTSON, 1983). Amonoides e bivalvíos inoceramídeos formam a base do zoneamento bioestratigráfico desta sucessão, que permitiu sua correlação com intervalos semelhantes na Europa e América no Norte e ampliou o entendimento da evolução da Bacia de Sergipe durante o Cretáceo Superior (ANDRADE, 2005; BENGTSON, 1983).

4. MATERIAS E MÉTODOS

4.1. Localização da Área de Estudo

A localidade Pedro Gonçalves 6 está inserida entre os municípios de General Maynard e Rosário do Catete, no leste do Estado de Sergipe. O acesso pode ser feito a partir da capital Aracaju pelas rodovias BR-235 e BR-101 até a altura da cidade de Rosário do Catete. Os afloramentos estudados (Figura 9) encontram-se inseridos em pedreiras de exploração de calcário, em uma propriedade particular de mesmo nome, que fazem parte dos depósitos carbonáticos do Membro Sapucari da Formação Cotinguiba, na região do Alto de Aracaju (Figura 7).

A localidade foi descrita de acordo com a sistemática introduzida por Bengtson (1983):

PEDRO GONÇALVES 6: UTM 8 816 202 S; 720 975 E; 24L; Carta Topográfica SC.24-Z-B-V-1. Pedreira com orientação NW-SE Altitude ca. 40 m.

Kcsp: Calcário cinza, estratificado a nodular a brechoide, muito bioturbado.

4.2. Material

O material de estudo compreende 56 amostras provenientes da seção Pedro Gonçalves 6 (PG6), coletadas no primeiro semestre de 2018. As amostras analisadas consistem de conchas e moldes de moluscos bivalvíos e amonoides, bioconstruções e tubos. Durante os trabalhos de campo foi feita a descrição litoestratigráfica da seção e a coleta das amostras (fósseis e icnofósseis). O material foi triado e separado em laboratório, de acordo com o tipo de estrutura biogênica presente (bioerosão ou bioturbação). As estruturas de bioerosão foram analisadas com auxílio de uma lupa binocular *Opton* com aumento máximo de 400x. O material está depositado no Laboratório de Mineralogia e Paleontologia do Departamento de Geologia (DGEOL) da Universidade Federal de Sergipe, sob o prefixo PG06.

Os icnofósseis foram identificados de acordo com as classificações sistemática, toponômica e etológica, baseadas nas indicações de Bromley (1994), Seilacher (2007), Buatois e Mángano (2011) e Buatois *et al.* (2017).

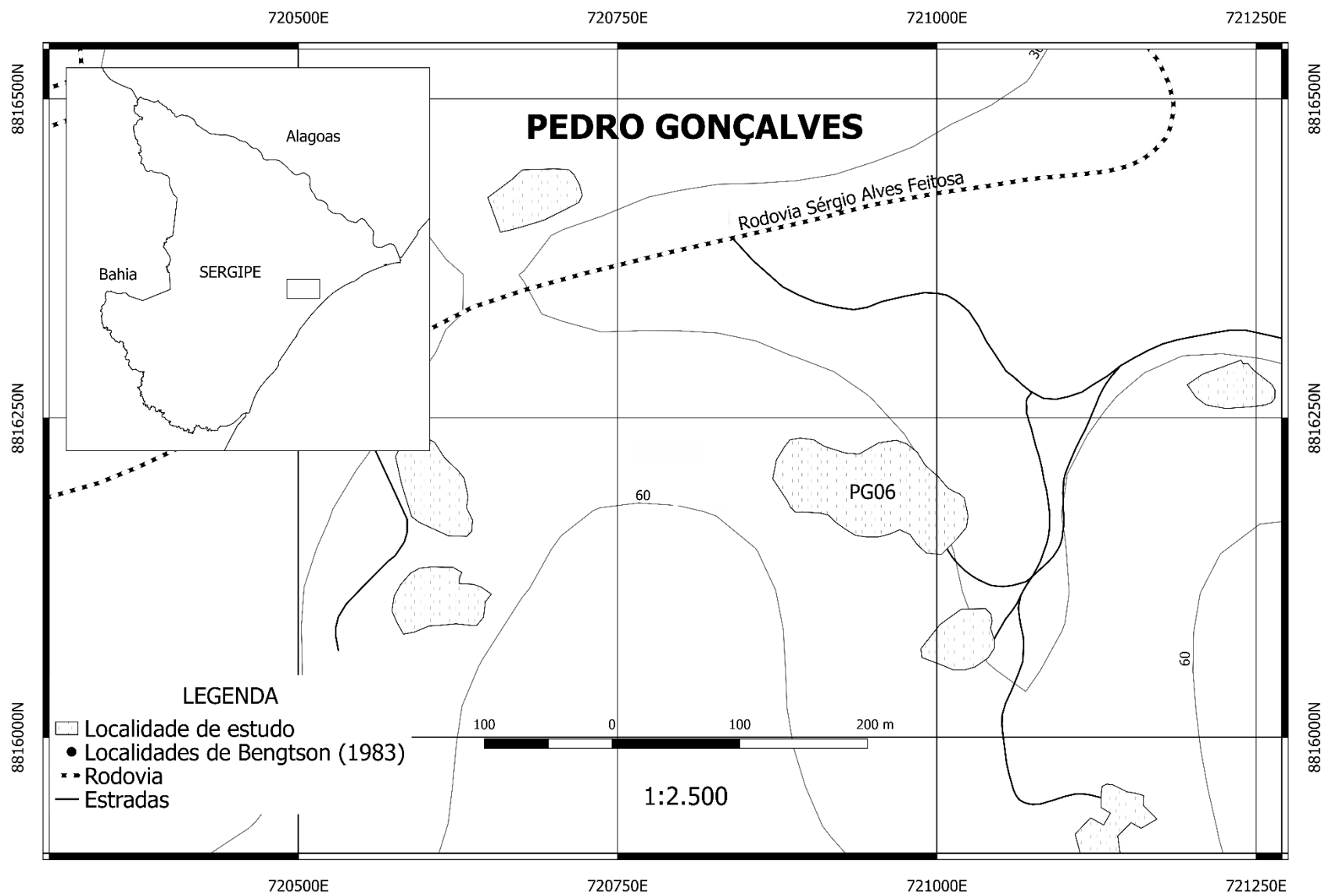


Figura 9: Localização simplificada da área de estudo Pedro Gonçalves 6 (PG06).

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1. Litoestratigrafia

A seção Pedro Gonçalves 6 (PG06) faz parte de uma pedreira ativa de exploração de calcário, com face de lavra voltada para NE. Possui aproximadamente 100 m de largura com 20 m de altura na parede mais alta (Figura 10).



Figura 10: Visão panorâmica da pedreira Pedro Gonçalves 6.

O perfil litoestratigráfico da seção PG06 apresenta uma sucessão sedimentar com espessura aproximada de 20 m. A análise detalhada da seção permitiu subdividi-la em três pacotes, de acordo com mudanças nas características litológicas, texturais e paleontológicas observadas (Figura 11): O pacote inferior (1), constituído por uma alternância de camadas de calcilutitos e margas pouco fossilíferos; um pacote intermediário (2), composto por calcário irregular a nodular, extremamente bioturbado e finalmente, o pacote superior (3) marca uma mudança abrupta do calcário irregular/nodular da parte intermediária para uma brecha carbonática rica em fósseis com bancos de ostreídeos no topo da seção PG06.

O pacote inferior ocorre entre a base do perfil e aproximadamente 9,5 m de altura (Figura 11.A). É composto por uma alternância de calcilutitos e margas, de coloração cinza, que se torna amarelada em determinados locais por conta do intemperismo. As camadas de calcilutito apresentam espessura entre 10 e 15 cm que são alternadas por delgadas camadas de marga, com espessura entre 3 e 5 cm (Figura 12.A). Neste pacote, observa-se a presença de amonoides, equinoides, bivalvíos inoceramídeos e superfícies de *hardground*, marcadas pela presença bioturbações.

A sucessão de carbonatos torna-se mais irregular a medida que migra para o topo. Entre 9,5 e 17,5 m, pode-se observar um calcário irregular a nodular extremamente bioturbado do pacote intermediário (Figura 11.B). A intensidade da bioturbação aumenta em direção ao topo, até chegar ao seu máximo na base da brecha carbonática do pacote superior (Figura 12.B)

O pacote superior apresenta aproximadamente 3,0 m de espessura, constituído por uma brecha carbonática suportada pela matriz, rica em macrofósseis de moluscos bivalvíos, gastrópodes, equinoides e tubos (Figura 11.C). No topo deste pacote, ocorrem bancos de ostreídeos sobrepostos à brecha carbonática (Figura 12.C). As estruturas de bioerosão observadas restringem-se às conchas, moldes dos macrofósseis e substratos bioconstruídos (Figura 12.D).

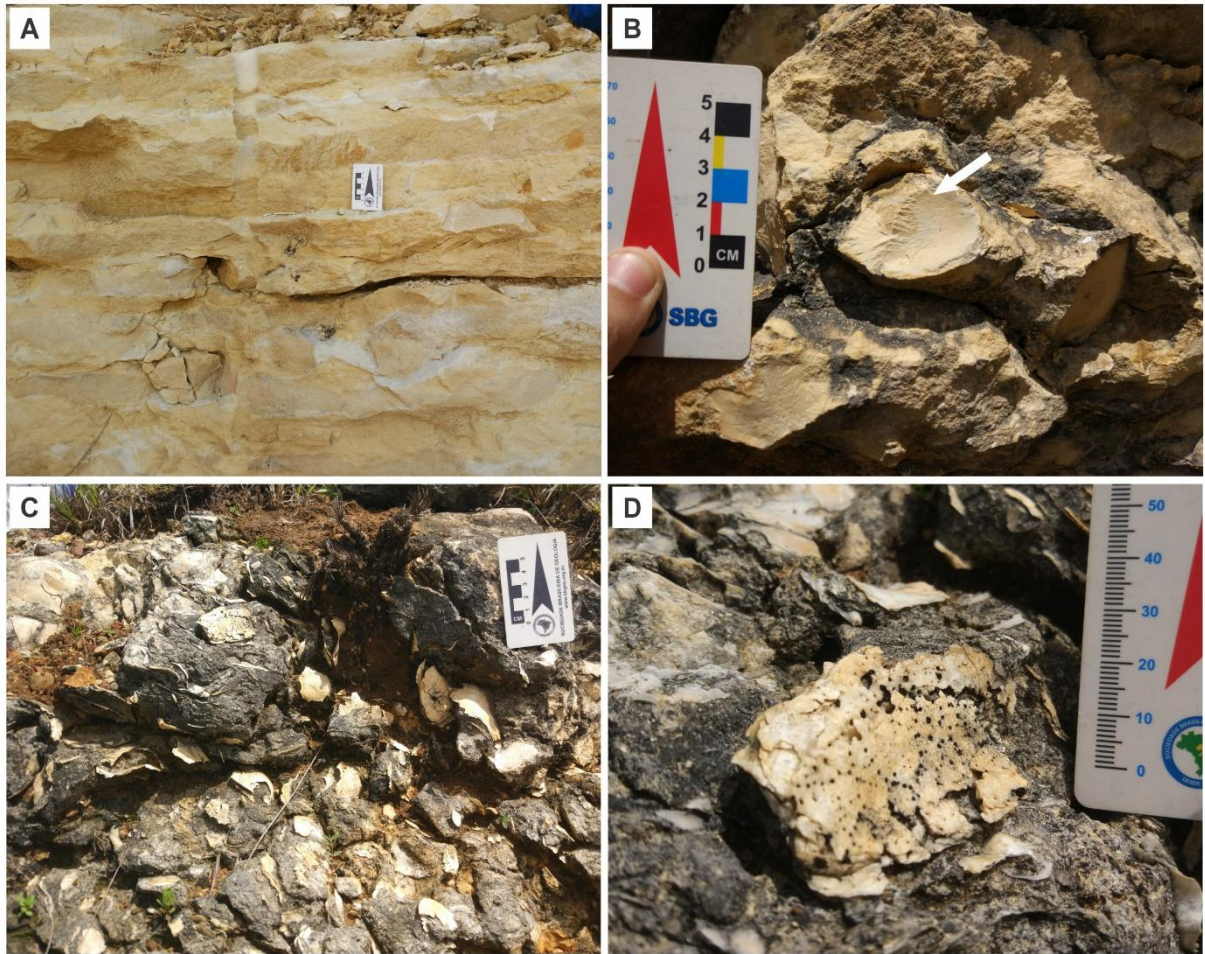


Figura 12: **A** Detalhe da alternância de calcilutito e marga no pacote inferior. **B**. Detalhe das estruturas de bioturbação no calcário irregular a nodular do pacote intermediário. **C**. Detalhe dos bancos de ostreídeos no topo do pacote superior. **D**. Concha de ostreídeo extremamente bioerodida no banco de ostreídeos no topo da seção PG06.

5.2. Icnologia sistemática

Foram identificadas e descritas sistematicamente seis estruturas de bioerosão e duas de bioturbação.

5.2.1. Estruturas de bioerosão

Icnogênero *Entobia* Bronn 1837

Entobia ispp.

Figura 13

Material – Conchas e moldes de moluscos bivalvíos.

Descrição – Galeria de câmaras circulares interconectadas por túneis cilíndricos à aberturas circulares em direção à superfície. As aberturas estão distribuídas de forma aleatória sobre a superfície de conchas e moldes de moluscos bivalvíos e estromatólitos. As aberturas são circulares com tamanho aproximado de 1 mm. Quando preservadas, as câmaras possuem forma subcircular e túneis alongados. Nos exemplares de bivalvíos que preservam a concha, apenas a abertura das perfurações é visível.

Discussão – *Entobia* é considerado um icnogênero de habitação (*Domichnia*) e/ou predação (*Praedichnia*) produzido por esponjas da família Clionidae em substratos rígidos. As perfurações ocorrem principalmente nas conchas de ostreídeos (Figura 13.A, B, D, E) ou preservada na forma de galerias nos moldes internos de outros bivalvíos (Figura 13.C). Localmente ocorrem perfurações de *Entobia* em bioconstruções estromatolíticas (Figura 13.F). A forma e a distribuição das câmaras e túneis de *Entobia* são as principais características analisadas na identificação das icnoespécies. Os poucos exemplares de Pedro Gonçalves 6 que preservam o molde interno das galerias de câmaras assemelham-se à *Entobia cateniformes* Bromley e D'Alessandro, 1984, descritas por Belaústegui, Domènech e Martinell (2018), na região umbonal da concha dos bivalvíos do Mioceno da Bacia Vilanova. Entretanto, o desgaste dos moldes estudados impede uma indicação específica (Figura 13.C). Seeling (2004) descreveu exemplares de *Entobia* do Cretáceo Superior de Sergipe. Por conta da má preservação dos moldes, o material não foi identificado ao nível específico, entretanto o autor sugere que mais de uma icnoespécie de *Entobia* ocorre no material de Sergipe.

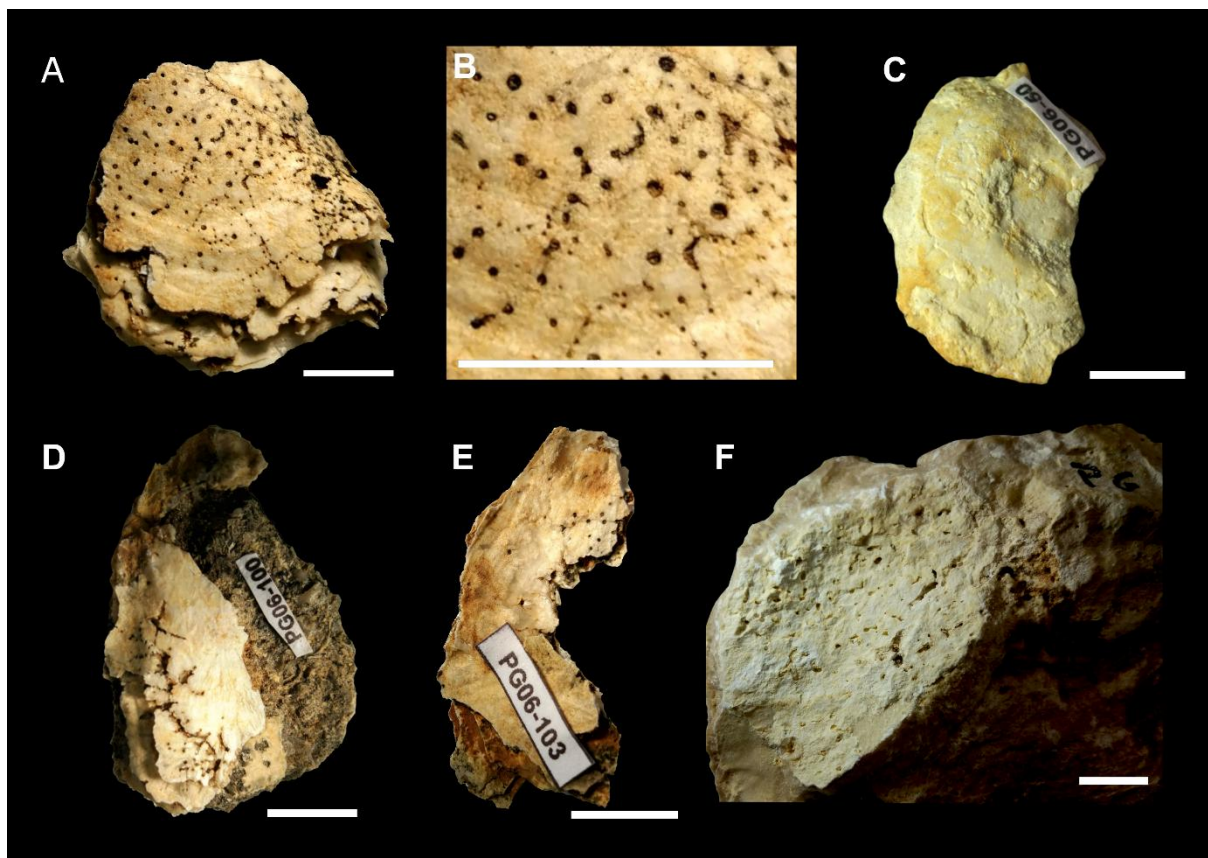


Figura 13: *Entobia* ispp. provenientes da localidade Pedro Gonçalves 6. **A.** Perfurações de *Entobia* sobre a valva de *Crassostrea* sp. (PG06-115). **B.** Detalhe das perfurações de *Entobia* isp. (PG06-115). **C.** Molde interno das galerias de *Entobia* isp. preservado sob a marca muscular de um molde interno de *Plicatula* sp. **D-E.** *Entobia* isp. sobre valva de *Crassostrea* sp. (PG06-100; PG06-103). **F.** Perfurações de *Entobia* isp. sobre construção estromatolítica. Barra de escala: 10 mm.

Icnogênero *Maeandropolydora* Voigt, 1965

Maeandropolydora sulcans Voigt, 1965

Figura 14

Material – Conchas e moldes de moluscos bivalvíos.

Descrição – Galerias longas, meandantes e sinuosas com duas ou mais aberturas que se tocam, porém não se cruzam. Os túneis são escavados sobre a concha de bivalvíos e amonoides, com comprimento que varia de 3 a 10 cm e seção circular com diâmetro médio de 1 mm.

Discussão – *Maeandropolydora* é um traço de habitação (*Domichnia*) de forma sinuoso, meandrante, ligeiramente espiralada, atribuído à categoria de bierosões (*winding bores*) (BUATOIS *et al.*, 2017). Anelídeos filtradores da classe Polychaeta são considerados os principais produtores deste traço, encontrado em diversos tipos

de substratos marinhos rígidos (BROMLEY, 2004). Os exemplares de Pedro Gonçalves 6 exibem pequena variação no tamanho das escavações e galerias cilíndricas, semelhantes àsquelas descritas no molde interno de um amonoide por Seeling (2004), proveniente do Turoniano Superior de Sergipe. *M. sulcans* difere de *Maeandropolydora elegans* Bromley e D'Alessandro, 1983, por exibir galerias que percorrem longas distâncias com limbos fundidos. (SEELING, 2004; ALMEIDA, 2007). *Maeandropolydora* é um traço comum do Jurássico ao Cretáceo e com poucas ocorrências registradas no Paleozoico (BROMLEY, 2004).

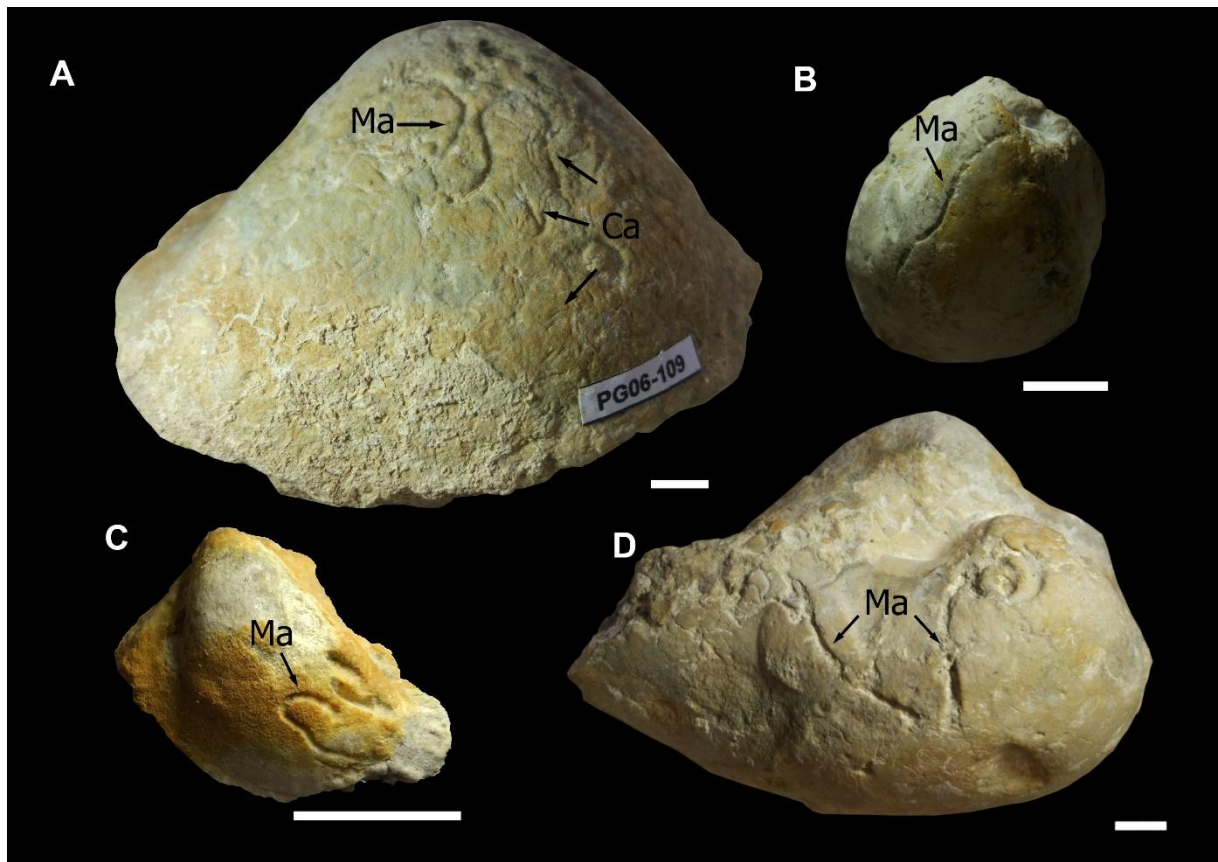


Figura 14: *Maeandropolydora sulcans* proveniente da localidade Pedro Gonçalves 6. **A.** Escavação de *M. sulcans* (Ma) sobre a valva de *Liopistha* (*Sergipemya*) *alta*, povoada por escavações de *Caulostrepsis* isp. (Ca) (PG06-109). **B.** *M. sulcans* (Ma) sobre a valva de *Protocardia pauli* (PG06-27). **C.** Escavação de *M. sulcans* (Ma) sobre valva de bivalvío Heterodonta. **D.** Extensa escavação de *M. sulcans* na região umbonal de *Megaporomya* sp. (PG06-001). Barra de escala: 10 mm.

Ichnogênero *Caulostrepsis* Clarke, 1908

Caulostrepsis isp.

Figura 15

Material – Conchas e moldes de moluscos bivalvíos.

Descrição – Galerias cilíndricas, retilíneas e curvadas, que se fecham próximo à abertura, em estreitas escavações do tipo 'U' em forma de bolsas, sem aspa entre as galerias. O túnel posiciona-se paralelamente à superfície erodida. A seção transversal da perfuração tem forma de haltere na porção mediana do vão central.

Discussão: – *Caulostrepsis* é um traço de habitação (*Domichnia*) produzido por anelídeos da classe Polychaeta com registros desde o Siluriano (BROMLEY, 2004). As perfurações de *Caulostrepsis* estudadas concentram-se na superfície das conchas dos moluscos bivalvíos. Diferente de *Maeandropolydora*, *Caulostrepsis* exibe um vão central entre os ramos das galerias que pode apresentar uma aspa (*vane*), semelhante à estrutura em *Spreite* observada nos ichnogêneros *Rhizocorallium* e *Diplocrateriom*. Esta aspa é produzida por remobilização do sedimento produzido durante a perfuração das galerias (ALMEIDA, 2007). A preservação das escavações dos exemplares estudados sobre forma de molde permitiu apenas a preservação da entrada e saída do túnel na maioria dos exemplares (Figura 15.A, B, D). Seeling (2004) identificou escavações de *Caulostrepsis taeniola* Clarke, 1908, no Cretáceo Superior de Sergipe, semelhantes àsquelas vistas no exemplar PG06-18 (Figura 16.D). Entretanto, a falta da aspa central em ambos os exemplares sugere afinidade com a icnoespécie *Caulostrepsis cretacea* (Voigt, 1971). A aspa central pode ser destruída por processos de dissolução e causar equívocos na identificação (DONAVAN *et al.*, 2014). Logo, os exemplares foram deixados em nomenclatura aberta.

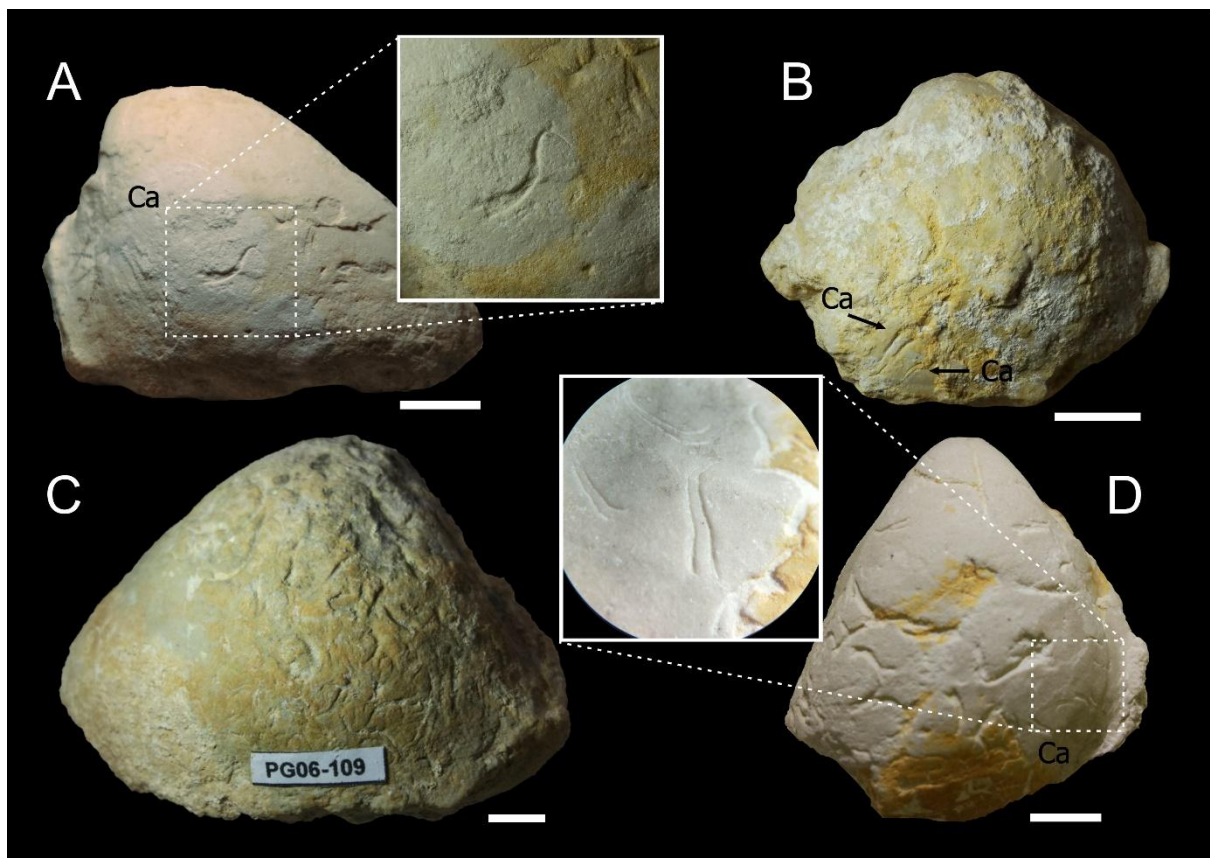


Figura 15: *Caulostrepsis* isp. proveniente da localidade Pedro Gonçalves 6. **A.** *C. taeniola* sobre valva de *Protocardia pauli* (PG06-24). **B.** *C. taeniola* (Ca) sobre valva de bivalve indet. (PG06-257). **C.** *C. taeniola* sobre valva de *Liopistha* (*Sergipemya*) *alta* (PG06-109). **D.** *C. taeniola* sobre valva de *Protocardia pauli* (PG06-18). Barra de escala: 10 mm.

Caulostrepsis spiralis Pickerill, Donovan e Portell, 2001

Figura 16

Material – Conchas e moldes de moluscos biválvios.

Descrição – Escavações em linha reta que se tornam espiraladas nas extremidades. As espirais são circulares, exibem de 4 a 5 voltas e possuem tamanho médio de 5 mm.

Discussão – *Caulostrepsis spiralis* assemelha-se ao icnogênero *Renichnus* Mayoral, 1987, entretanto, este último não apresenta o prolongamento linear inerente às galerias das escavações de *C. spiralis*.



Figura 16: *Caulostrepsis spiralis* proveniente da localidade Pedro Gonçalves 6 (PG06-09). Barra de escala 10 mm.

Ichnogênero *Oichnus* Bromley, 1981

Oichnus isp.

Figura 17

Material – Conchas e moldes de moluscos bivalvíos.

Descrição – Perfurações solitárias com forma circular ou ligeiramente elíptica, perpendiculares à superfície da concha de bivalvíos. O tamanho médio das perfurações é de 0,5 mm.

Discussão – *Oichnus* é interpretado como um traço de bioerosão associado ao hábito de predação (*Praedichnia*) por abrasão mecânica ou química de gastrópodes, nematódeos e braquiópodes (BROMLEY, 1981). Entre os gastrópodes, destacam-se as famílias Muricidae e Naticidae, notadamente produtoras dos traços assinalados com *Oichnus simplex* Bromley, 1981 e *Oichnus paraboloides* Bromley, 1981, respectivamente (PICKRILL; DONAVAN, 1998). Os exemplares de Pedro Gonçalves 6 foram preservados em moldes internos de bivalvíos. A forma circular dos moldes sugere proximidade com a icnoespécie *Oichnus simplex* Bromley, 1981. O exemplar PG06-147 exhibe uma cavidade relativamente profunda sobre o molde, o que sugere

que a perfuração atravessou toda a espessura da concha, o que difere *Oichnus* de outras perfurações circulares não perfurantes (BROMLEY, 2004). Os exemplares PG06-27 e PG06-01 (Figura 17) exibem perfurações mais superficiais, que podem estar relacionadas com tentativas fracassadas de penetração (LOPES, 2012). Esta icnoespécie foi anteriormente descrita por Seeling (2004), em conchas de moluscos biválvios da Fm. Cotinguiba.

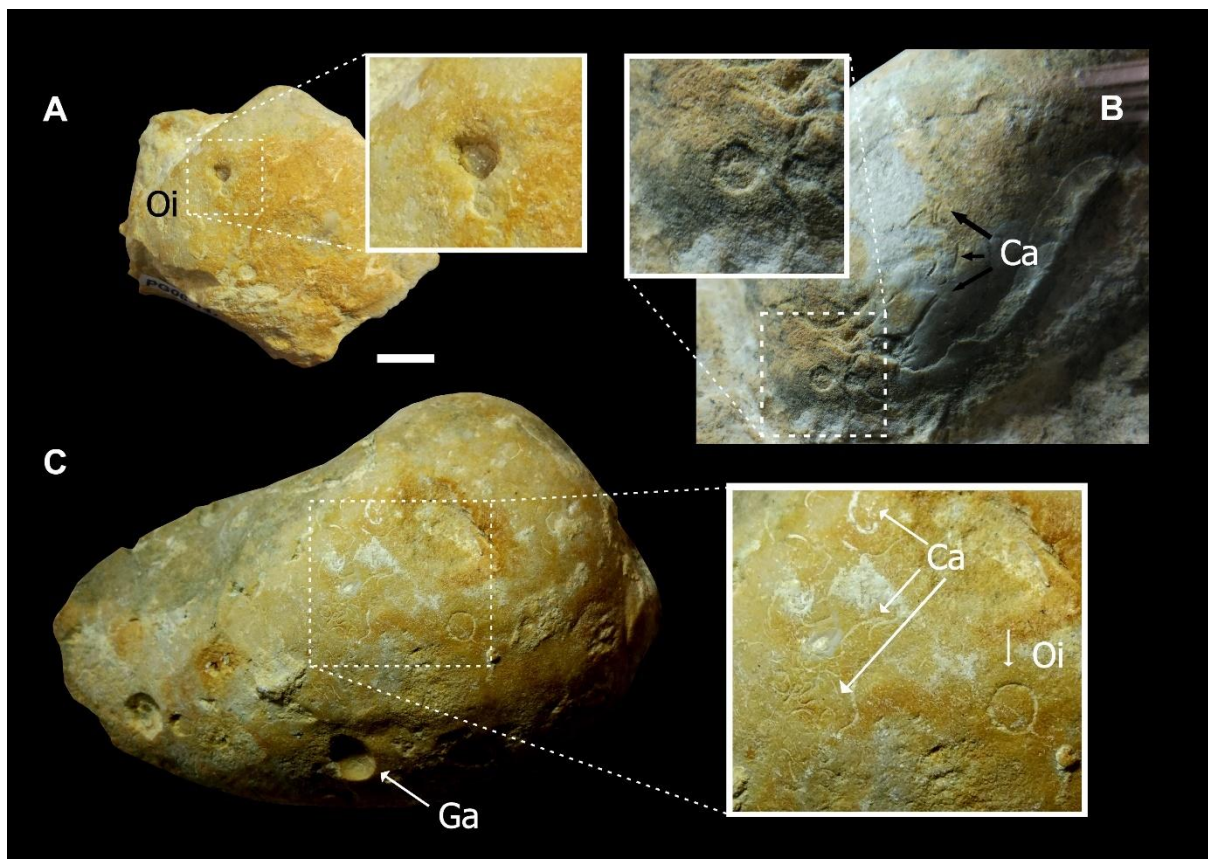


Figura 17: *Oichnus* isp. proveniente da localidade Pedro Gonçalves 6. **A.** Perfuração de *Oichnus* isp. (Oi) sobre a valva de *Protocardia* sp. (PG06-147). **B.** *Oichnus* isp. (Oi) e *Caulostrepsis* isp. (Ca) sobre valva de *Protocardia*. (PG06-27). **C.** *Oichnus* isp. (Oi), *Caulostrepsis* isp. (Ca) e *Gastrochaenolites* isp. (Ga) sobre valva de *Megaporomya* sp. (PG06-01). Barra de escala: 10 mm.

Ichnogênero *Gastrochaenolites* Leymerie, 1842

Gastrochaenolites isp.

Figura 18

Material: Moldes de moluscos amonoides e bivalvíos.

Descrição – Perfurações em forma circular, com entrada estreita que se expande gradualmente para uma câmara ligeiramente alongada e de forma abaulada. A câmara principal é achatada dorsalmente, de forma a apresentar seção transversal

elipsoidal. As câmaras apresentam tamanho médio de 10 mm, com paredes internas lisas.

Discussão: *Gastrochaenolites* é uma perfuração de habitação (*Domichnia*) atribuída à ação química de moluscos bivalvíos (UCHMAN; KLEEMANN; RATTAZZI, 2017). A classe bivalvia são os produtores das maiores e mais profundas escavações encontradas em rochas e conchas (WILSON, 2007). Os exemplares analisados são formas jovens, com câmara ligeiramente achatada e abertura máxima na região central, que se estende para uma abertura estreita. Estes exemplares assemelham-se em tamanho e forma àqueles vistos em *Gastrochaenolites lapidicus* Kelly e Bromley, 1984, identificados por El-Hedenny e El-Sabbagh (2018) em depósitos do Mioceno do Egito.

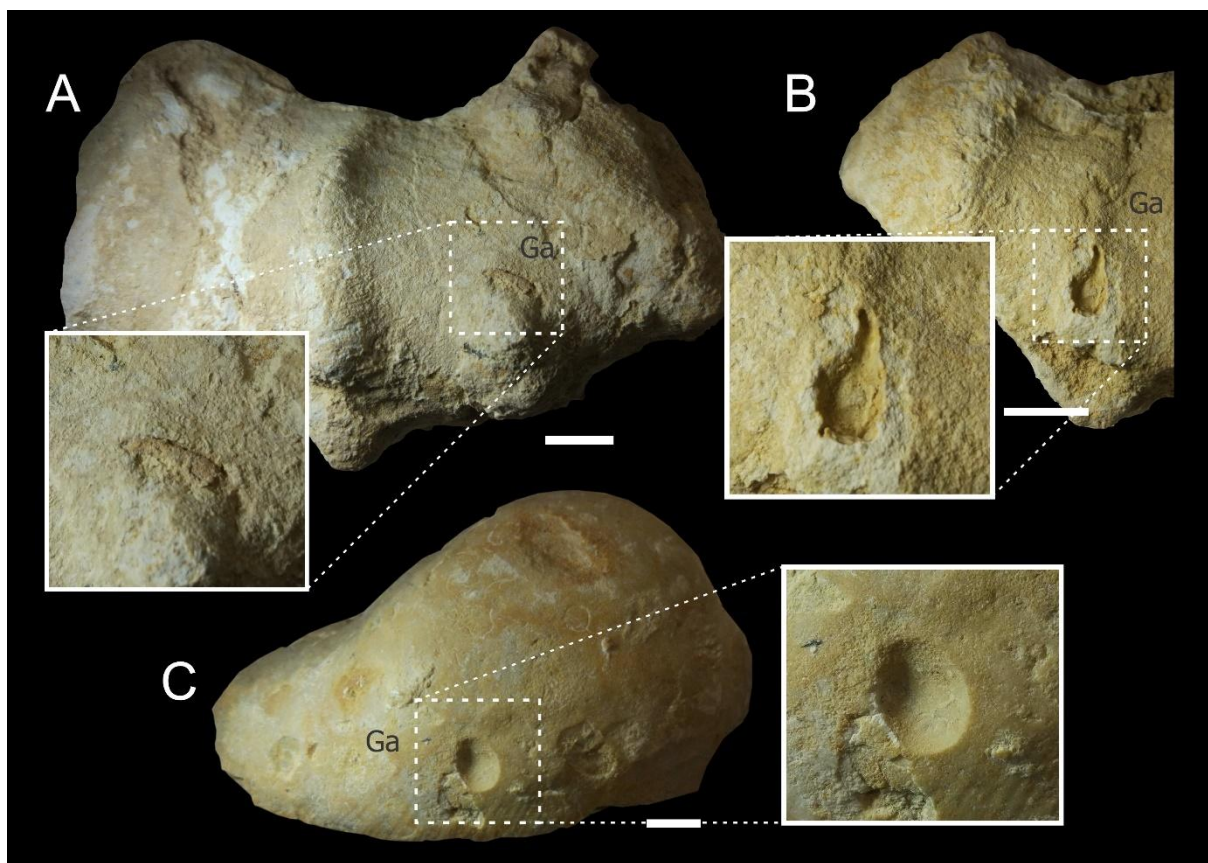


Figura 18: *Gastrochaenolites* isp. proveniente da localidade Pedro Gonçalves 6. **A-B.** Perfuração de *Gastrochaenolites* isp. na concha de um amonoide acantoceratídeo (PG06-238). **C.** *Gastrochaenolites* isp. sobre concha de *Megaporomya* sp. (PG06-01). Barra de escala: 10 mm.

5.2.2. Estruturas de Bioturbação

Ichnogênero *Thalassinoides* Ehrenberg, 1944

Thalassinoides isp.

Figura 19

Material – Exemplares PG06-244, 245, 246, 247, 248 e 249.

Descrição – Túneis e galerias horizontais, bifurcadas em Y e conectadas a túneis verticais, preservados como relevo completo. Seção transversal ligeiramente circular, com diâmetro médio de 12 mm que se expande em direção as bifurcações. Os túneis bifurcam-se em ângulos de 120°.

Discussão: As escavações do ichnogênero *Thalassinoides* são interpretadas como traços de habitação (*Domichnia*) e alimentação (*Fodinichnia*), produzidos por crustáceos malacostráceos da ordem Decapoda, incluídos na categoria arquitetural de labirintos e *boxworks* (BUATOIS *et al.*, 2017). *Thalassinoides* difere de *Ophiomorpha* pela ausência de preenchimento nas paredes do tubo. Seilacher (2007) discutiu as principais características dos sistemas de túneis criados por artrópodes e a sua estrita relação entre substrato e o revestimento dos túneis. Em substratos arenosos, a fim de evitar o colapso das galerias desenvolvidas, os organismos bioturbadores produzem um revestimento interno do túnel composto por pelotas fecais lamosas, características das escavações de *Ophiomorpha*. Em contrapartida, galerias desenvolvidas em um substrato lamoso rígido dispensam este reforço e favorecem a preservação do tipo *Thalassinoides* (SEILACHER, 2007). A morfologia dessas formas está intimamente ligada a um mesmo padrão comportamental, o que leva alguns autores a sugerir a sinonimização dos ichnogêneros *Thalassinoides* e *Ophiomorpha* (Figura 21) (BROMLEY, 1996). *Thalassinoides* é uma das formas presentes na icnofácies *Glossifungites*. Esta icnofácies está associada a longos períodos de quiescência da sedimentação e formação de *firmgrounds* (BUATOIS; MÁNGANO, 2011).

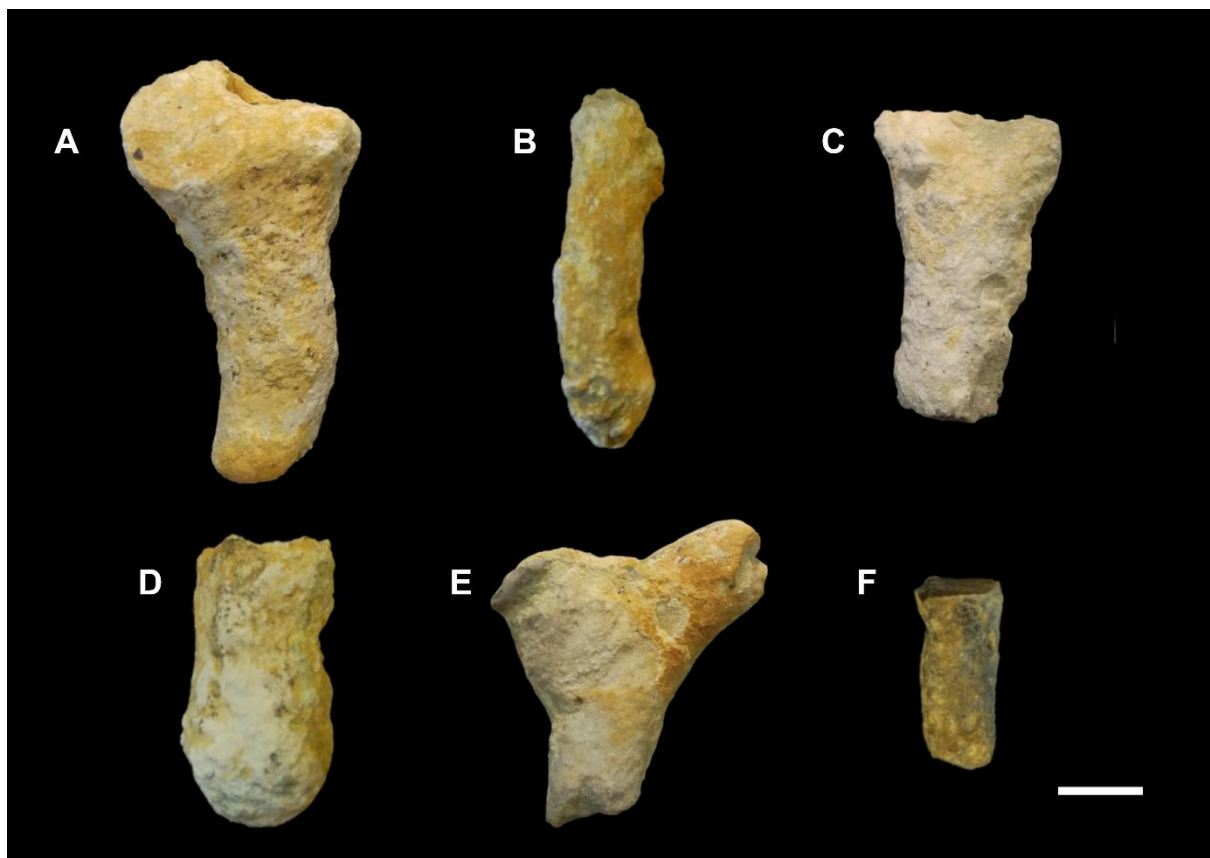


Figura 19: *Thalassinoides* isp. provenientes da localidade Pedro Gonçalves 6. A-F. Exemplos PG06-244, 245, 246, 247, 248 e 249, respectivamente. Barra de escala: 10 mm

Ícnogênero *Laminites* Ghent e Henderson, 1966

Laminites isp.

Figura 20

Material – Exemplos PG06-235, 213, 230, 213, 235.

Descrição – Tubo circular preservado como relevo completo, com comprimento médio de 150 mm. Em seção transversal, o tubo exibe forma circular a ligeiramente elíptica, diâmetro entre 37 e 55 mm (médio de 44 mm). Este tubo apresenta um dreno central, que pode estar colapsado ou não, circundado por uma borda de litificação. O dreno é circular, possui diâmetro entre 3 e 5 mm (médio de 4 mm), quando colapsado, exibe feição de lua crescente. Este dreno é circundado por uma borda de litificação ligeiramente circular, com tamanho médio de 12 mm, que por vezes adquire forma caótica.

Discussão: Em determinados exemplares, o dreno central é delgado e apresenta formato côncavo para o topo ou desaparece completamente com sua respectiva borda de litificação (Figura 20.B, F). Bromley e Asgard (1975) sugerem que isso ocorre quando o duto central colapsa ou quando o equinoide se move na vertical, escavando para cima ou para baixo. Esses autores afirmam que a litificação da matriz é altamente variável nestas formas e pode estar restrita ao revestimento do tubo. Diversas estruturas de bioturbação foram atribuídas à atividade de equinoides irregulares em substratos inconsolidados (eg. *Cardioichnus*, *Subphyllochora*, *Bichordites*, *Scolicia*, *Taphrhelminthopsis*, *Laminites*). Plaziat & Mahmoudi (1988) propuseram a separação toponômica entre esses icnogêneros, de acordo com sua morfologia. *Scolicia* é restrita a epirrelevos negativos. Em contrapartida, *Subphyllochora*, *Taphrhelminthopsis* e *Cardioichnus* são encontrados em hiporrelevos positivos. Estas formas podem ocorrer ocasionalmente conectadas às estruturas de relevo completo de *Laminites*. Bioturbações do icnogênero *Bichordites* são interpretadas como o contramolde do dreno central e sua respectiva borda de litificação produzido por equinoides com tubo fecal único. O contraste no sedimento que forma a borda de litificação periférica ao dreno central é gerada pela potencialização da cimentação do duto, induzida pelo gradiente químico da atividade microbiana em torno da maior quantidade de muco secretado pelo equinoide na região do periprocto (DEMÍRCAN; UCHMAN, 2012). Bromley e Asgaard (1975) encontraram espécimes do equinoide *Echinocardium cordatum* no final dos túneis com estrutura meniscada. Esse organismo possui apenas um tubo sanitário (ou dispositivo sanitário *sensu* NICHOLS, 1959), dedicado aos espinhos subanaís. Por conta disso, apenas um dreno pode ser observado nesses tubos. Organismos que preservam dois tubos sanitários são atribuídos ao icnogênero *Scolicia* (PLAZIAT; MAHMOUDI, 1988). Os tubos encontrados nos exemplares de Pedro Gonçalves 6 possuem apenas um dreno, localizado na região inferior da seção transversal (Figura 20.C). Apesar da aparente inexistência de estrutura meniscada nos tubos estudados (provavelmente obliterada pela ação da diagênese) é possível observar uma orientação preferencial da matriz carbonática da região exterior borda de litificação (Figura 20.E), semelhante àquela vista nos tubos ilustrados por Plaziat e Mahmoudi (1998), e atribuída à ação de reorganização do sedimento pelos espinhos do equinoide.

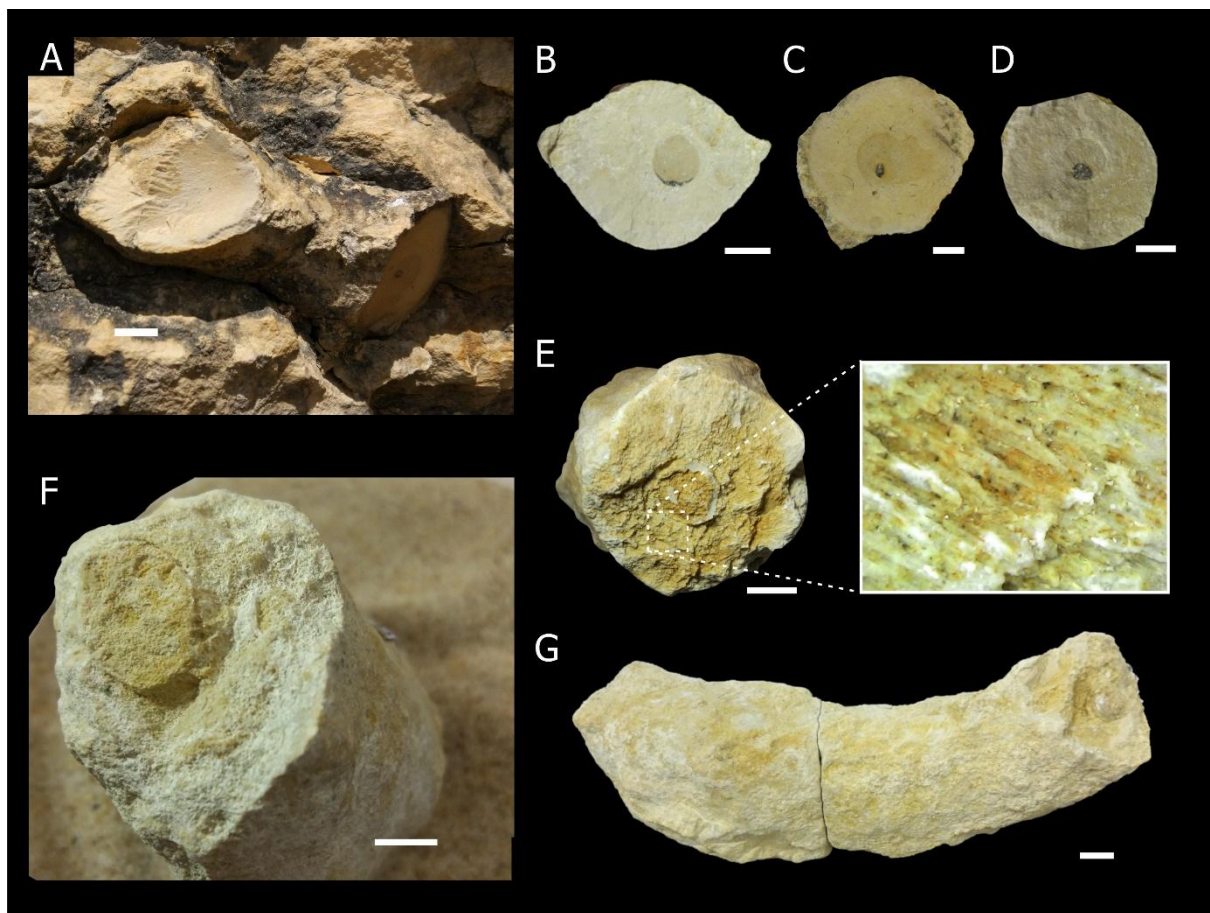


Figura 20: *Laminites* isp. proveniente da localidade Pedro Gonçalves 6. **A.** *Laminites* isp. no calcário do pacote intermediário da seção PG06. **B-G.** *Laminites* isp. (exemplares PG06-235, 213, 230, 213, 235 respectivamente).

5.3. Icnofácies e Interpretação Paleoambiental

A icnocenose identificada na seção Pedro Gonçalves 6 é composta por estruturas de bioerosão e bioturbação produzidas majoritariamente por organismos bentônicos endolíticos, filtradores de partículas em suspensão, com comportamento etológico de habitação (*Domichnia*). Na tabela 1 são apresentados os icnogêneros identificados, distribuição estratigráfica, organismos produtores, etologia e comportamento trófico.

As estruturas de bioturbação ocorrem desde o pacote inferior até o topo do pacote superior, entretanto apresentam a maior abundância em termos de formas (icnoespécies) e volume em rocha no calcário brechoide do pacote intermediário. A brecha carbonática e os bancos de ostreídeos do pacote superior da seção concentram as estruturas de bioerosão, sobretudo, nos moldes e conchas de bivalvíos e amonoides.

Durante as fases de desenvolvimento das esponjas clonaídeos, galerias e câmaras são construídas em substratos carbonáticos rígidos, que se mantêm conectadas à coluna d'água para permitir filtração de partículas em suspensão. A presença de *Entobia* na parte interior das conchas de *Crassostrea* é um indicativo de bioerosão no período *post mortem*. Este tipo de ocorrência é associado à presença de águas rasas e claras, dentro da zona fótica e com baixas taxas de sedimentação em ambiente plataformar (GURAV; KULKARNI, 2017; WILSON, 2007).

Escavações circulares como os de *Oichnus* são particularmente incomuns no Paleozoico. Com o surgimento de gastrópodes muricídeos e naticídeos no final do Cretáceo, estas perfurações tornaram-se extremamente abundantes. Perfurações circulares podem estar relacionadas à predação, parasitismo ou apenas como mecanismo de fixação em um substrato rígido (BROMLEY, 2004).

Estruturas de bioerosão produzidas por anelídeos poliquetas, especialmente da família Spionidae, como *Caulostrepsis* e *Maeandropolydora*, representam comportamento de habitação (*Domichnia*) associado ao hábito trófico de filtração (BROMLEY, 2004). Por conta disso, as perfurações apresentam-se cilíndricas, com pelo menos uma das aberturas conectada à coluna d'água (WILSON, 2007).

Tabela 1: Distribuição estratigráfica, produtores em potencial, grupo etológico e tipo trófico dos icnofósseis identificados na seção Pedro Gonçalves 6. (BROMLEY, 2004; WILSON, 2007; PEREIRA; MOCHO; LOURENÇO, 2009; BUATOIS *et al.*, 2016).

Tipo de Traço	Ichnogênero	Distribuição Estratigráfica	Organismo produtor	Etologia	Tipo trófico
<i>Bioerosão</i>	<i>Caulostrepsis</i>	Devoniano - Recente	Anelídeos (Polychaeta)	<i>Domichnia</i>	Filtradores/ predação
	<i>Entobia</i>	Devoniano - Recente	Esponjas (Clionidae)	<i>Domichnia</i>	Filtradores
	<i>Gastrochaenolites</i>	Ordoviciano - Recente	Biválvios	<i>Domichnia</i>	Filtradores
	<i>Maeandropolydora</i>	Jurássico - Recente	Anelídeos (Polychaeta)	<i>Domichnia</i>	Filtradores
	<i>Oichnus</i>	Ediacarano - Recente	Gastrópodes, nemátodos	<i>Praedichnia</i>	Predação
<i>Bioturbação</i>	<i>Thalassinoides</i>	Paleozoico - Recente	Crustáceos Decapodos	<i>Domichnia/Fodinichnia</i>	Filtradores
	<i>Laminites</i>	Mesozoico - Recente	Equinoides irregulares	<i>Domichnia</i>	Filtradores

Os exemplares de *Caulostrepsis* estudados concentram-se na superfície das conchas de moluscos bivalvíos infaunais e epifaunais, de vida livre ou sésseis. Donovan *et al.* (2014) mostraram que perfurações recentes de *Caulostrepsis* ocorrem preferencialmente nos carbonatos da Formação Antigua (oeste da Índia) do que na superfície rígida das conchas do ostreídeo *Hyotissa antiguensis* (Brown). Este fato corrobora a hipótese que o fundo marinho da área estudada estava recoberto por uma grande concentração de conchas, o que obrigava os organismos endolíticos a perfurarem esse substrato.

Tubos de crustáceos desenvolvem-se na base de sequências durante subidas do nível do mar, quando condições de alta oxigenação e disponibilidade de nutrientes são exploradas pelos crustáceos (MONACO *et al.*, 2007). *Thalassinoides* e *Ophiomorpha* são formas de bioturbação produzidas por crustáceos decápodos recorrentes. A presença de preenchimento no tubo é um fator controlado pelo substrato. Essa característica foi evidenciada pela existência de migração vertical e uma forma para a outra (Figura 21). *Thalassinoides* é um tubo associado à formação de *Hargrounds*, mas que pode povoar *softgrounds* e *firmgrounds* (KENNEDY, 1975, CATUNEANU, 2006).

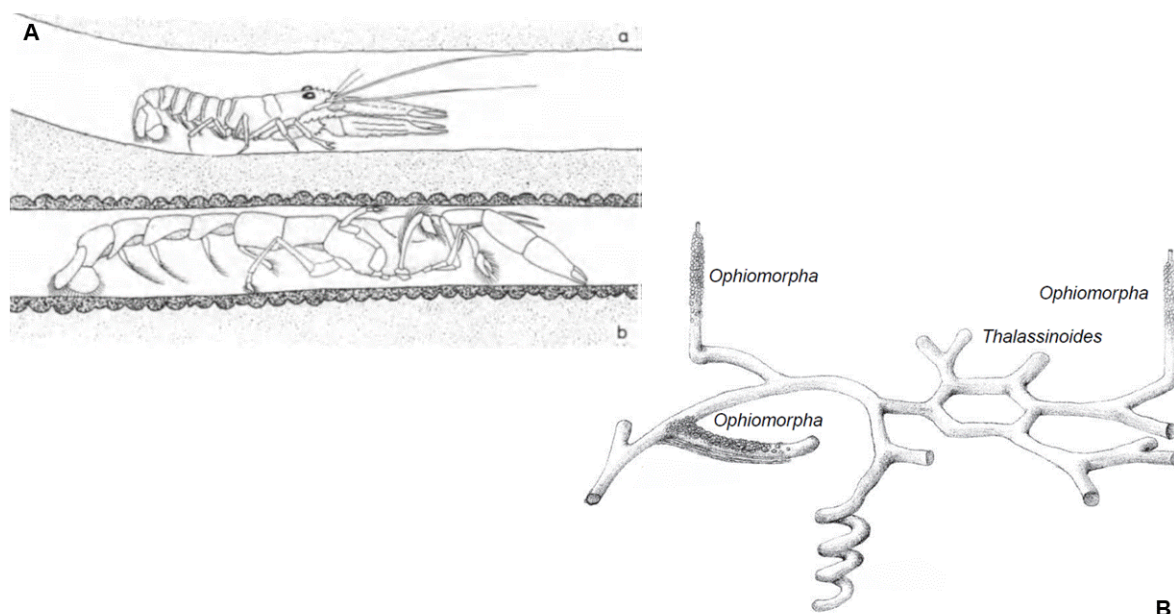


Figura 21: (A) Representação esquemática das escavações produzidas por crustáceos decápodos em diferentes substratos (B) e das estruturas de *Ophiomorpha* e *Thalassinoides* (modificado de BUATOIS, 1996; BERTLING *et al.*, 2006). Sem escala.

Apesar da relativa abundância de icnogêneros atribuídos a equinoides irregulares, Bromley e Asgaard (1975) afirmam que o registro quantitativo de icnofósseis produzidos pelo grupo é extremamente pequeno em comparação ao número de fósseis corporais preservados. Esta situação se agrava ao considerar o fato que equinoides são bioturbadores especializados. Os equinoides irregulares da ordem Spatangoida apresentam as melhores adaptações morfológicas para a vida endobentônica (BROMLEY, 1996). Bromley e Asgaard (1975) encontraram nos depósitos do Pleistoceno da Grécia fósseis corporais de *Echinocardium cordatum* Pennant, 1777, em posição de vida, na parte final de tubos com estrutura meniscada, que preservavam o dreno central da estrutura de bioturbação. Os autores afirmam que *E. cordatum* desenvolve tubos circulares bem definidos, composto por três partes: a câmara de habitação (1), o dreno central (2) circundado por uma borda de litificação (3) (Figura 22). Esta visão é compartilhada por Plaziat e Mahmoudi (1988), que interpretaram *Bichordites* como a expressão preservada da borda de litificação do dreno central (Figura 23).

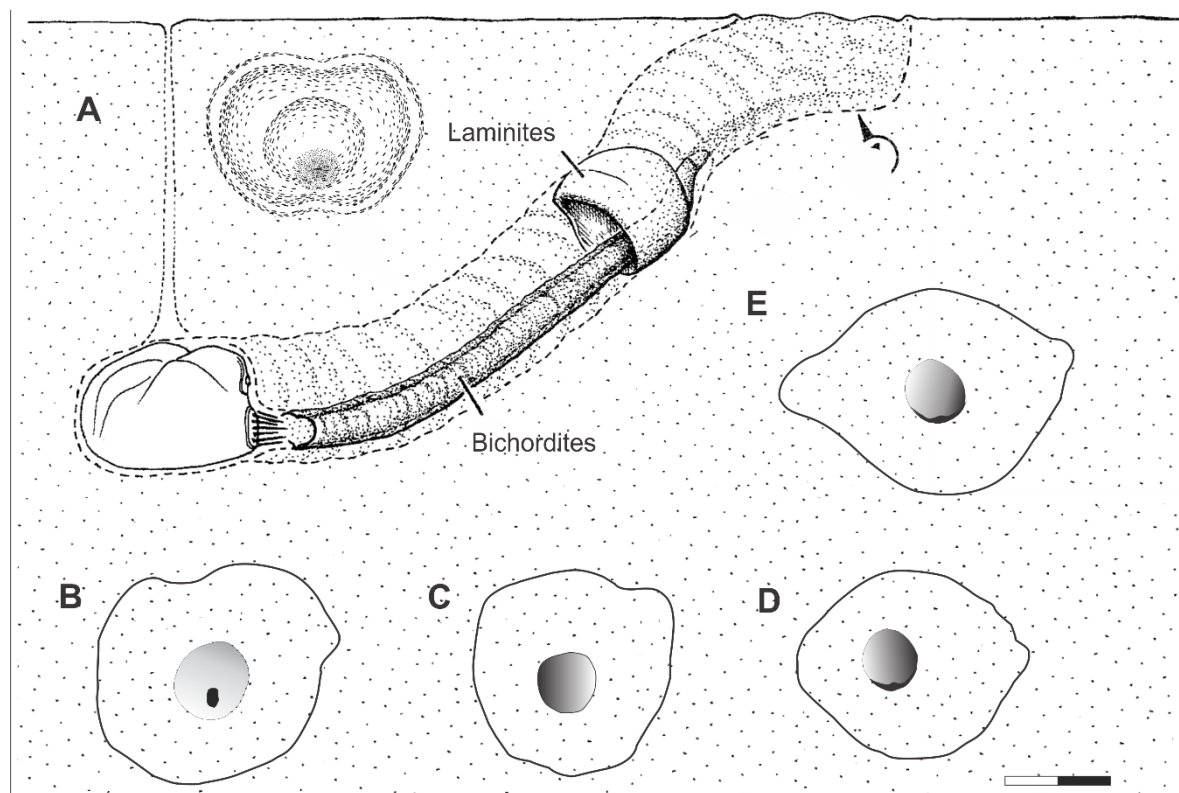


Figura 22: Representação esquemática das relações de bioturbação de equinoides espatangoides e dos traços de bioturbação resultantes. **A.** Interpretação de *Bichordites* como um tubo concêntrico inserido em *Laminites* (modificado de PLAZIAT; MAHMOUDI, 1988). Seção transversal da bioturbação do mesmo equinoide, exibindo três zonas concêntricas bem definidas (modificado de BROMLEY; ASGAARD, 1975). **B-E.** Representação esquemática da seção transversal dos tubos de *Laminites* isp. provenientes de PG06. Barra de escala: 10 mm.

Os exemplares de Sergipe apresentam a mesma configuração de dreno central, borda de litificação (*Bichordites*) e túnel de habitação (*Laminites*) (Figura 22.B-E). Os equinoides irregulares do gênero *Mecaster* Pomel, 1883, são abundantes ao longo da seção estudada e apontados como possíveis produtores de *Laminites*.

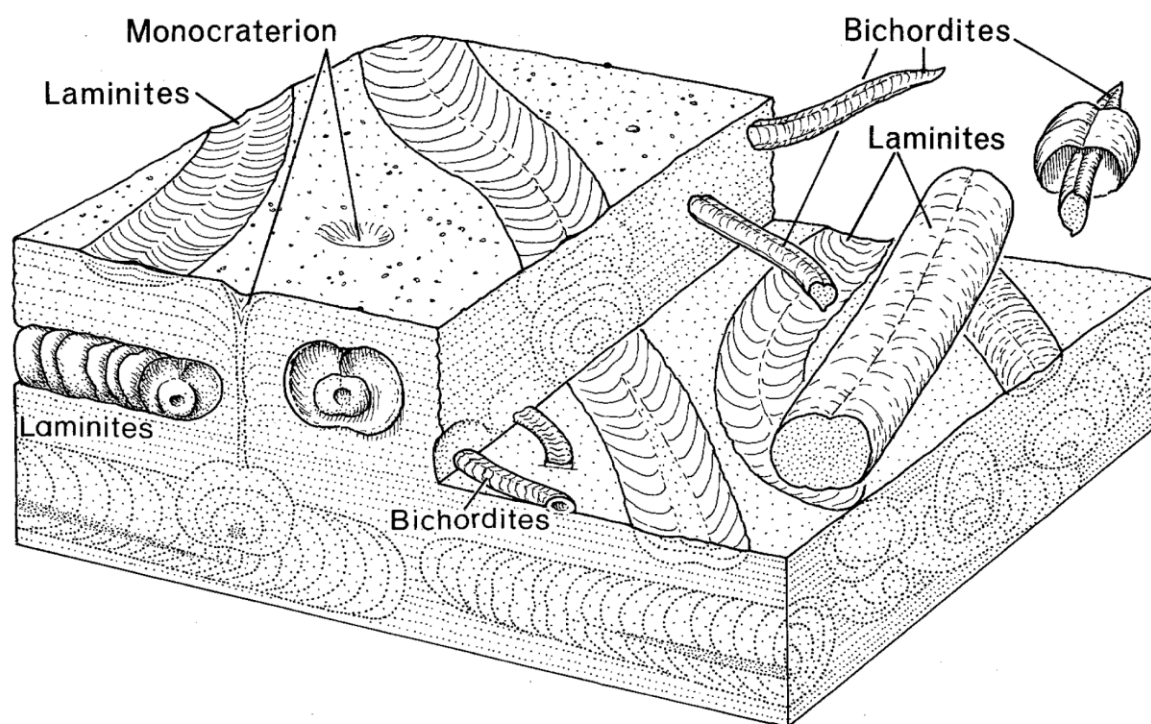


Figura 23: Diagrama esquemático das estruturas de bioturbação geradas pela atividade de equinoides irregulares (extraído de PLAZIAT; MAHMOUDI, 1998).

No pacote inferior da seção Pedro Gonçalves observa-se a presença esporádica de bioturbação por *Thalassinoides* e raros amonoides com estruturas de bioerosão. Na parte intermediária ocorre um aumento gradual de tubos de *Thalassinoides* concomitantemente com o surgimento dos tubos de *Laminites* no calcário nodular. A presença abundante de *Thalassinoides* neste pacote pode estar associada à icnofácies Glossifungites (Figura 24), descrita por Seilacher (1967). Esta icnofácies é caracterizada por escavações de moradia (*Domichnia*), sem *lining*, preenchidas de forma passiva, que são produzidas por organismos filtradores de partículas em suspensão (biválvios, crustáceos e anelídeos) (SEILACHER, 1967; BUATOIS; MÁNGANO, 2011). Apesar de não ser um icnogênero diagnóstico, as escavações de *Laminites* reforçam a baixa icnodiversidade e a grande abundância das escavações encontradas nesse pacote (BUATOIS; MÁNGANO, 2011). Em

ambientes carbonáticos, *Glossifungites* é associada à redução nas taxas de sedimentação e superfícies de omissão, em ambientes de água rasa e de moderada a alta energia (BUATOIS; MÁNGANO, 2011).

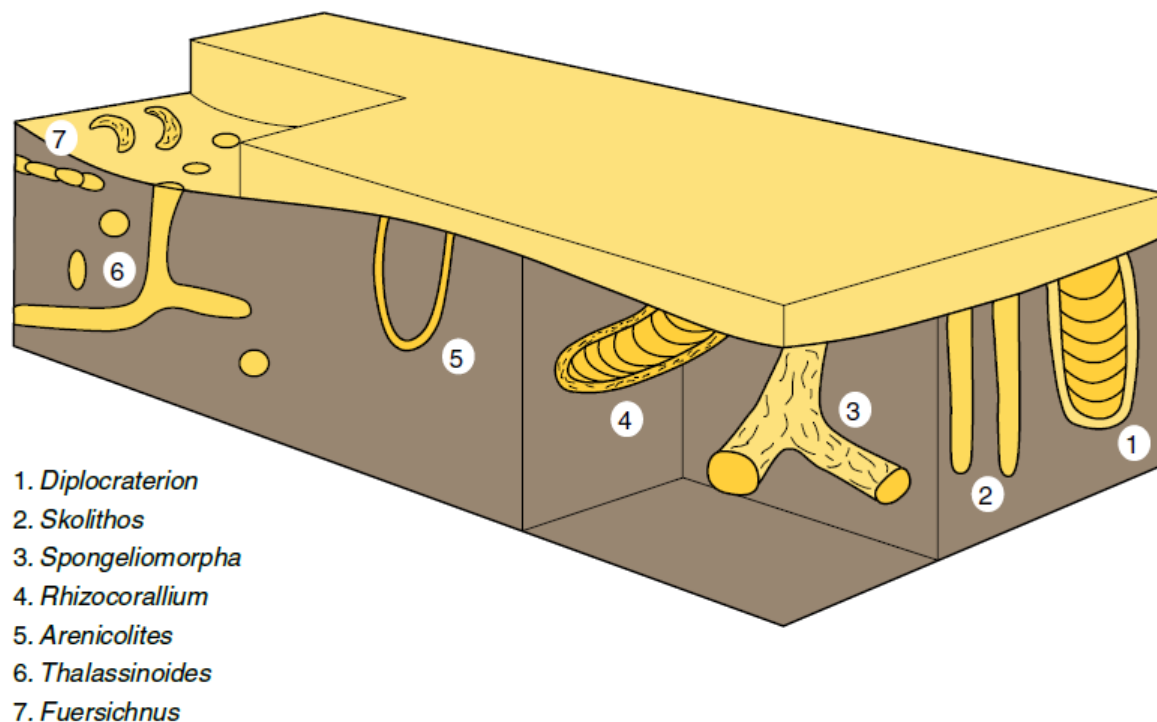


Figura 24: Reconstrução esquemática da icnofácies *Glossifungites* (extraído de BUATOIS; MÁNGANO, 2011).

A icnocenose encontrada no pacote superior é constituída principalmente por estruturas de bioerosão (*Entobia*, *Caulostrepsis*, *Gastrochaenolites*, *Oichnus* e *Maeandropolydora*) e tubos de *Thalassinoides*. Esta icnocenose permite associar o ambiente à icnofácies *Entobia* (Figura 25). Esta icnofácies foi descrita por Bromley e Asgaard (1993), é dominada por escavações não preenchidas, cilíndricas, verticais ou horizontais, produzidas por organismos filtradores de partículas em suspensão. *Entobia* é considerada uma icnofácies dominada por perfurações profundas pertencente à icnofácies arquetípica *Trypanites*. Esta icnofácies é encontrada em substratos consolidados, bioerodidos por longos períodos, comuns em momentos de quiescência ou parada na sedimentação com hiatos estratigráficos significativos, ou seja, longos episódios de erosão e formação de *hardgrounds* (BROMLEY; ASGAARD, 1993; CATUNEANU, 2006; BUATOIS; MÁNGANO, 2011).

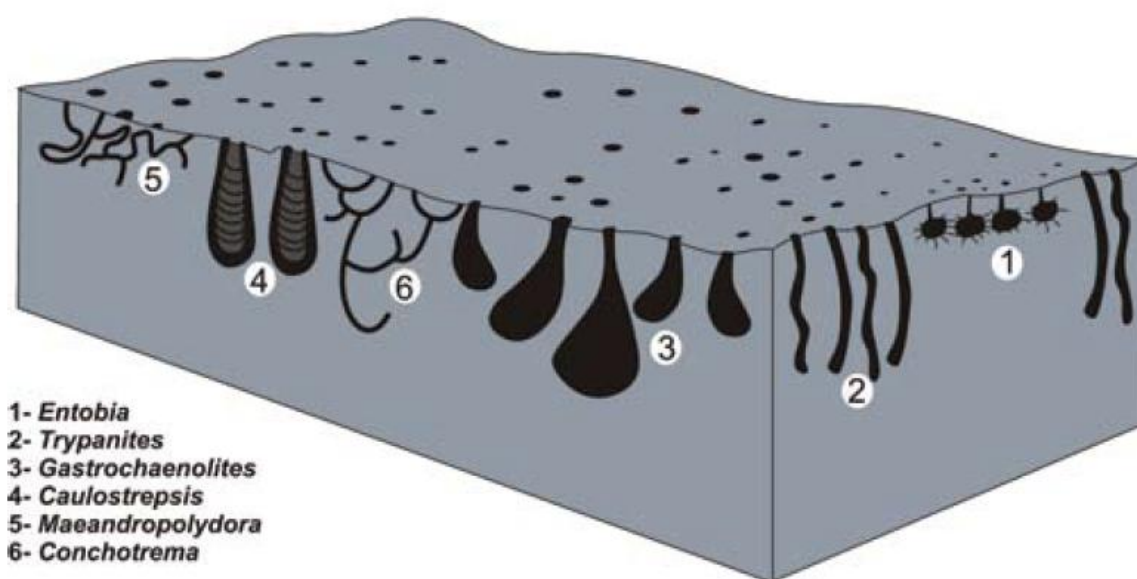


Figura 25: Reconstrução Esquemática da icnofácies *Trypanites/Entobia* (extraído de BUATOIS; MÁNGANO, 2011).

Glossifungites e *Entobia* são icnofácies controladas pelo substrato, particularmente úteis na identificação e mapeamento de discontinuidades estratigráficas (CATUNEANU, 2006). A migração vertical da icnofácies *Glossifungites* para *Entobia* evidencia um processo de raseamento no intervalo estratigráfico da seção Pedro Gonçalves 6. A mudança na icnofauna, acompanhada pela substituição de organismos bioturbadores para outros quase que exclusivamente bioerodidores, permite averiguar uma mudança na coerência do substrato e uma diminuição do aporte sedimentar na região, associadas a um processo de regressão (Figura 26). A sucessão estratigráfica da seção Pedro Gonçalves 6 é coerente com o modelo deposicional proposto por Koutsoukos *et al.* (1993) para a Formação Cotinguiba. Esses autores constataram que brechas carbonáticas foram geradas durante episódios de deslizamento do calcário sobre a rampa carbonática da Fm. Cotinguiba. Sugere-se então, que um desses episódios depositou o calcário brechoide do pacote superior, rico em macrofósseis e de águas mais rasas sobre o calcário nodular do pacote intermediário, extremamente bioturbado e de águas mais profundas. As estruturas de bioerosão *pos-mortem* encontradas no pacote superior são indicativos de que houve uma colonização do substrato por organismos endolíticos, induzida pelo rebaixamento do nível eustático.

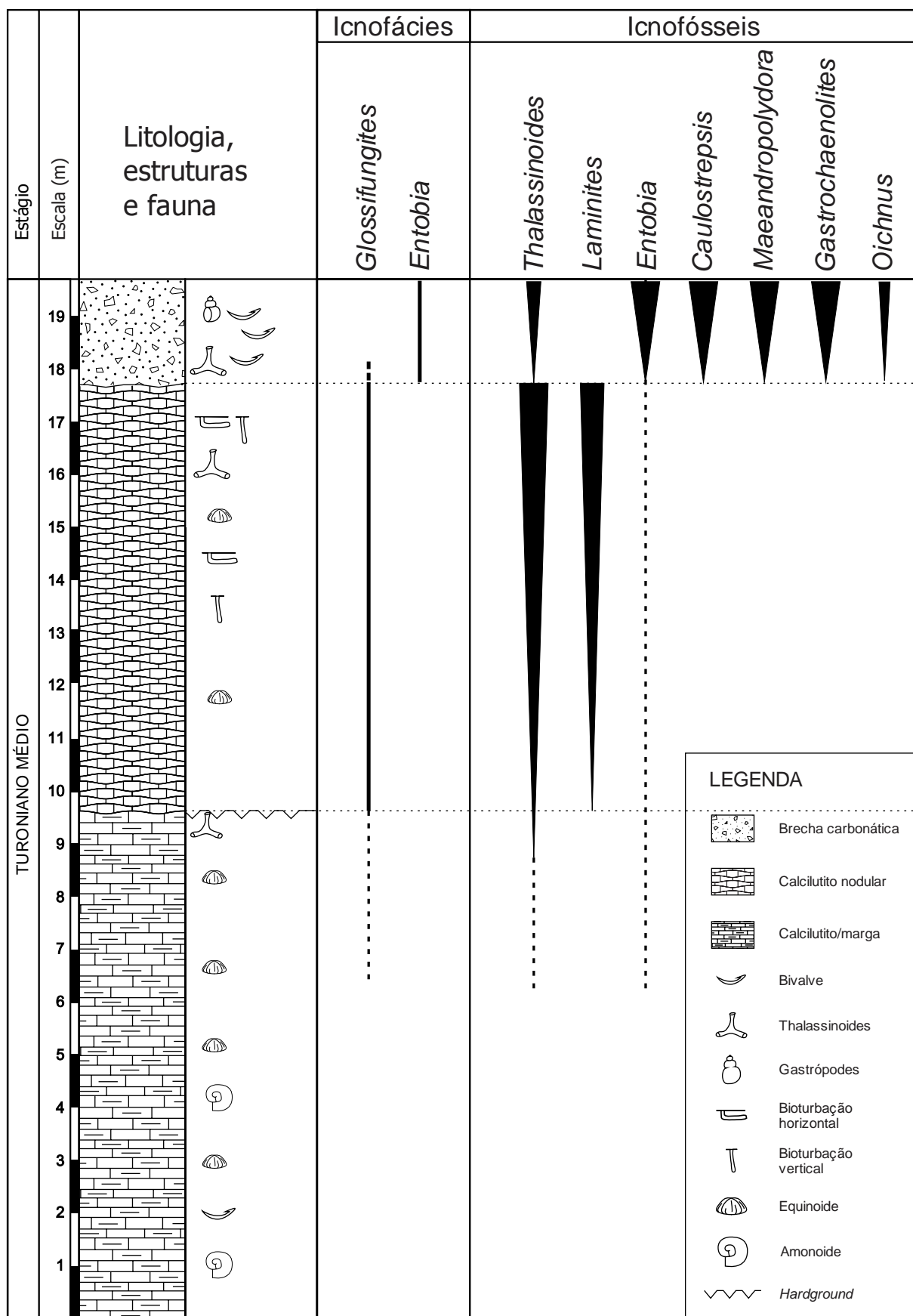


Figura 26: Distribuição estratigráfica dos icnofósseis e icnofácies na seção Pedro Gonçalves 6.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise detalhada da sucessão estratigráfica da seção Pedro Gonçalves 6 (PG06) permitiu caracterizá-la em termos de litoestratigrafia, icnologia e evolução paleoambiental.

A sucessão litoestratigráfica da seção PG06 é constituída por uma alternância de camadas de calcilutitos e margas pouco fossilíferos que migram para um calcário nodular extremamente bioturbado, sotoposto por uma brecha carbonática rica em fósseis, com bancos de ostreídeos no topo.

Foram identificadas e descritas sistematicamente duas estruturas de bioturbação e seis de bioerosão. A icnocenose identificada é dominada por estruturas de bioturbação de *Thalassinoides* e *Laminites*, e de bioerosão representadas por *Entobia*, *Caulostrepsis*, *Gastrochaenolites*, *Maeandropolydora* e *Oichnus*. A presença de escavações de habitação de *Thalassinoides* e *Laminites* é indicativa de um substrato inconsolidado, associado à icnofácies *Glossifungites*. Em contrapartida, a icnocenose dominada por estruturas de bioerosão permite estabelecer a icnofácies *Entobia*, associada a substratos litificados (*hardgrounds*) e paradas na sedimentação.

A distribuição dos icnofósseis na sucessão estratigráfica permitiu verificar uma mudança acentuada na icnocenose ao longo da seção Pedro Gonçalves, refletida na migração vertical das icnofácies *Glossifungites* para *Entobia*. Apesar do *trend* transgressivo atribuído à Formação Cotinguiba, este padrão de empilhamento sugere um evento regressivo de alta frequência, que causou raseamento da bacia e consequente diminuição da taxa de sedimentação no Turoniano médio.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, J. A. C. **Iconofósseis de macrobioerosão na Bacia da Paraíba (Cretáceo Superior - Paleógeno), Nordeste do Brasil**. 2007. 2 v. Tese (Doutorado) - Doutorado em Geociências, Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, Recife-PE, 2007.
- ANDRADE, E. J. **Turonian inoceramids and biostratigraphy of the Sergipe Basin, northeastern Brazil: an integrated study of the Votorantim and Nassau quarries**. 2005. 155 f Tese (Doutorado em Ciências) - Doutorado em Ciências, Geologisch-Paläontologisches Institut Ruprecht-Karl-Universität Heidelberg, Heidelberg, 2005.
- BELAUSTEGUI, Z.; DOMÈNECH, R.; MARTINELL, J. An ichnofossil-lagerstätte from the Miocene Vilanova Basin (NE Spain): Taphonomic and Paleoecologic Insights Related to Bioerosion Structures. **Palaios**, v. 33, n. 1, p. 16-28, 2018.
- BENGTSON, P. The Cenomanian-Coniacian of the Sergipe Basin, Brazil. **Fossils and Strata**, v. 12, n. 12, p. 1-78. 1983.
- BERTLING, M.; BRADDY, S. J.; BROMLEY, R. G.; DEMATHIEU, G. R.; GENISE, J.; MIKULÁŠ, R.; UCHMAN, A. Names for trace fossils: a uniform approach. **Lethaia**, v. 39, n. 3, p. 265-286, 2006.
- BROMLEY, R. G. Concepts in ichnotaxonomy illustrated by small round holes in shells. **Acta geológica hispánica**, v. 16, n. 1, p. 55-64, 1981.
- BROMLEY, R. G. **Trace Fossils: Biology, Taphonomy and Applications**. 2. ed. Denmark: Springer-science+business Media, B. V., 1996. 375 p.
- BROMLEY, R. G. A stratigraphy of marine bioerosion. In: MCILROY, D. (ed.) The Application of Ichnology to Palaeoenvironmental and Stratigraphic Analysis. **Geological Society, London, Special Publications**, v. 228, n. 1, p. 455-479, 2004.
- BROMLEY, R.; ASGAARD, U. Sediment structures produced by a spatangoid echinoid: a problem of preservation. **Bulletin of the Geological Society of Denmark**, v. 24, n. 3-4, p. 261-281, 1975.

- BROMLEY, R. G.; ASGAARD, U. Two bioerosion ichnofacies produced by early and late burial associated with sea-level change. **Geologische Rundschau**, v. 82, n. 2, p. 276-280, 1993.
- BUATOIS, L. A.; MÁNGANO, M. G. **Ichnology**: Organism-substrate interactions in space and time. Cambridge University Press, 2011. 366 p.
- BUATOIS, L. A.; ENCINAS, A. Ichnology, sequence stratigraphy and depositional evolution of an Upper Cretaceous rocky shoreline in central Chile: Bioerosion structures in a transgressed metamorphic basement. **Cretaceous Research**, v. 32, n. 2, p. 203-212, 2011.
- BUATOIS, L. A.; CARMONA, N. B.; CURRAN, H. A.; NETTO, R. G.; MÁNGANO, M. G.; WETZEL, A. The Mesozoic Marine Revolution. In: MÁNGANO, G.; BUATOIS, L. A. (Ed.). **The Trace-Fossil Record of Major Evolutionary Events**: Volume 2: Mesozoic and Cenozoic. Springer, p. 19-134, 2016.
- BUATOIS, L. A.; WISSHAK, M.; WILSON, M. A.; & MÁNGANO, M. G. Categories of architectural designs in trace fossils: A measure of ichnodisparity. **Earth-science reviews**, v. 164, p. 102-181, 2017.
- CAMPOS NETO, O. P. A.; SOUZA-LIMA, W.; CRUZ, F. E. G. Bacia de Sergipe-Alagoas. **Boletim de Geociências da Petrobras**, v.15, n. 2, p. 405-415, mai./nov. 2007.
- CARVALHO, I. S.; FERNANDES, A. C. S. **Icnologia**. In: Sociedade Brasileira de Geologia, Serie Textos. 2007.
- CATUNEANU, O. **Principles of sequence stratigraphy**. Elsevier, 2006.
- CRUZ, L. R. **Caracterização Tectono-Estratigráfica da Sequência Transicional na Sub-Bacia de Sergipe**. UFRN, 2008. Tese (Doutorado em Geologia) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 169 p., 2008.
- DARWIN, C. **The formation of vegetable mould, through the action of worms, with observations on their habits**. Appleton, 1892.
- DASHTGARD, S. E.; GRINGAS, M. K. Marine invertebrate neoichnology. In: **Developments in Sedimentology**. Elsevier, 2012. p. 273-295.

- DEMÍRCAN, H.; UCHMAN, A. The miniature echinoid trace fossil *Bichordites kuzunensis* isp. nov. from early Oligocene prodelta sediments of the Mezardere Formation, Gökçeada Island, NW Turkey. **Acta Geologica Polonica**, v. 62, n. 2, p. 205-215, 2012.
- DONOVAN, S. K; HARPER, D. A.; PORTELL, R. W.; RENEMA, W. Neoichnology and implications for stratigraphy of reworked Upper Oligocene oysters, Antigua, West Indies. **Proceedings of the Geologists' Association**, v. 125, n. 1, p. 99-106, 2014.
- EKDALE, A. A. Paleoecology of the marine endobenthos. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, v. 50, n. 1, p. 63-81, 1985.
- EL-HEDENY, M.; EL-SABBAGH, A. Entobia ichnofacies from the Middle Miocene carbonate succession of the northern Western Desert of Egypt. In: **Annales Societatis Geologorum Poloniae**. v. 88. p 1-19. 2018.
- FEIJÓ, F. J. Bacia de Sergipe e Alagoas. **Boletim de Geociências da Petrobras**, v. 8, n. 1, p. 151, 1994.
- FERNANDES, A. C. S.; CARVALHO, I. de S.; AGOSTINHO, S. Icnofósseis: conceitos gerais. In: CARVALHO, I. de S; FERNANDES, A. C. S. (Ed.). **Icnologia**. São Paulo: Sociedade Brasileira de Geologia, 2007. p. 8-23.
- GURAV, S. S.; KULKARNI, K. G. Natural Casts of Early Eocene Entobia from the Kachchh Basin, India. **Ichnos**, p. 1-8, 2017.
- KENNEDY, W. J. Trace fossils in carbonate rocks. In: FREY, R. W. (Ed.). **The Study of Trace Fossils: A Synthesis of Principles, Problems and Procedures in Ichnology**: Springer-verlag New York Inc., 1975. p. 377-398.
- KOUTSOUKOS, E. A. M. **Mid-to Late Cretaceous microbiostratigraphy, palaeoecology and palaeogeography of the Sergipe Basin, northeastern Brazil**. 1989. 336 f. Tese (Doutorado) - Polytechnic South West, Plymouth, 1989.
- KOUTSOUKOS, E. A. M.; BENGTSON, P. Towards an integrated biostratigraphy of the upper Aptian-Maastrichtian of the Sergipe Basin, Brazil. **Docum. Lab. Géol. Lyon**, n. 125; p. 241-262, 1993.
- KOUTSOUKOS, E. A. M. DESTRO, N.; AZAMBUJA FILHO, N. C.; SPADINI, A. R. Upper Aptian-lower Coniacian carbonate sequences in the Sergipe Basin,

- northeastern Brazil. **Memoirs - American Association of Petroleum Geologists**, p. 127-127, 1993.
- LOPES, R. P. Bioerosion and bioincrustation in body fossils from the Coastal Plain of Rio Grande do Sul State, Southern Brazil. **Ichnology of Latin America–Selected Papers**. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Paleontologia, p. 179-194, 2012.
- MILANI, E. J.; RANGEL, H. D.; BUENO, G. V.; STICA, J. M.; WINTER, W. R.; CAIXETA, J. M.; NETO, O. P. Bacias sedimentares brasileiras: cartas estratigráficas. **Boletim de Geociências da Petrobrás**, v. 15, n. 1, 2007.
- MONACO, P., CARACUEL, J. E., GIANNETTI, A., SORIA, J. M.; YÉBENES, A. *Thalassinoides* and *Ophiomorpha* as cross-facies trace fossils of crustaceans from shallow-to-deep-water environments: Mesozoic and Tertiary examples from Italy and Spain. 2007.
- NICHOLS, D. Mode of life and taxonomy in irregular sea-urchins. **Systematics Association Publication**, v. 3, p. 61-80, 1959.
- NIETO, L. M.; REOLID, M.; RODRÍGUEZ-TOVAR, F. J.; CASTRO, J. M.; MOLINA, J. M.; RUIZ-ORTIZ, P. A. An integrated analysis (microfacies and ichnology) of a shallow carbonate-platform succession: upper Aptian, Lower Cretaceous, Betic Cordillera. **Facies**, v. 64, n. 1, p. 4, 2018.
- OJEDA, H. A. O.; FUGITA, A. M. Bacia Sergipe/Alagoas: geologia regional e perspectivas petrolíferas. In: **Congresso Brasileiro de Geologia**. 1976. p. 137-138.
- PEREIRA, S.; MOCHO, P.; LOURENÇO, J. Bioerosão sobre *Megacardita jouanetti* (BIVALVIA) do Miocénico da Foz do Rego (Costa de Caparica, Portugal). **Paleolusitana**, p. 328-329. jan. 2009
- PICKERILL, R. K.; DONOVAN, S. K. Ichnology of the Pliocene Bowden shell bed, southeast Jamaica. **Mededelingen van de Werkgroep voor Tertiaire en Kwartaire Geologie**, v. 35, n. 1/4, p. 161-175, 1998.
- PLAZIAT, J. C.; MAHMOUDI, M. Trace fossils attributed to burrowing echinoids: a revision including new ichnogenus and ichnospecies. **Geobios**, v. 21, n. 2, p. 209-233, 1988.

- SEELING, J. Bioerosion of Late Cretaceous molluscs from Sergipe, Brazil. **Neues Jahrbuch für Geologie und Palaontologie-Monatshefte**, n. 7, p. 413-426, 2004.
- SEILACHER, A. Biogenic Sedimentary Structures. In: IMBRIE, John; NEWELL, Norman. **Approaches to Paleoecology**. John Wiley and Sons, Inc., 1964. p. 296-319.
- SEILACHER, A. Fossil behavior. **Scientific American**, v. 217, n. 2, p. 72-83, 1967.
- SEILACHER, A. **Trace Fossil Analysis**. Heidelberg: Springer-verlag Berlin Heidelberg, 2007. 238 p.
- SIMPSON, S. Classification of Trace Fossils. In: FREY, R. W. (Ed.). **The Study of Trace Fossils: A Synthesis of Principles, Problems and Procedures in Ichnology**. Springer-verlag New York Inc., 1975. p. 39-54.
- SOUZA-LIMA, W. ANDRADE, E. J.; BENGTON, P. GALM, P. **A bacia de Sergipe-Alagoas: Evolução geológica, estratigrafia e conteúdo fóssil**. Fundação Paleontológica Phoenix, Aracaju: Edição Especial, v.1, p.1-34, 2002.
- TAYLOR, P. D.; WILSON, M. A. Palaeoecology and evolution of marine hard substrate communities. **Earth-Science Reviews**, v. 62, n. 1-2, p. 1-103, 2003.
- UCHMAN, A.; KLEEMANN, K.; RATTAZZI, B. Macroborings, their tracemakers and nestlers in clasts of a fan delta: the Savignone Conglomerate (Lower Oligocene), Northern Apennines, Italy. **Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie-Abhandlungen**, v. 283, n. 1, p. 35-51, 2017.
- WILSON, M. A. Macroborings and the evolution of marine bioerosion. In MILLER, W (Ed.). **Trace Fossils: Concepts, Problems, Prospects**. Arcata: 2007. p. 356-367.